

KÄYTETTYJEN LEIKKUUNESTEIDEN KÄSITTELY- JA PUHDISTUSMENETELMÄT

Tero Reijonen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Tero Reijonen			
Työn nimi Käytettyjen leikkuunesteiden käsittely- ja puhdistusmenetelmät			
Päiväys	26.5.2011	Sivumäärä/Liitteet	49 + 0
Ohjaaja(t) Dipl.ins. Eero Antikainen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikkö			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia käytettyjen leikkuunesteiden käsittely- ja puhdistusmenetelmiä. Työ oli osana Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön koordinoimaa LEIKKO-hanketta (leikkuunesteiden kierrätyksen ja jätehuoltopalveluiden kehittäminen kone- ja metalliteollisuudessa). Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kattava kirjallinen selvitys yleisesti leikkuunesteiden puhdistuksiin käytetyistä menetelmistä sekä selvittää niiden toimintaperiaatteet. Lisäksi työssä oli tarkoitus saada käsiteltyä jäteleikkuunestettä saostamalla ja suodattamalla siten, että nesteestä erotettu vesi voitaisiin johtaa jätevesiviemäriin ja jäljelle jäänyt seos toimitettaisiin jatkokäsiteltäväksi.</p> <p>Työn alkuosassa perehdyttiin kirjallisuuden avulla erilaisiin leikkuunesteisiin, niiden ominaisuuksiin sekä leikkuunesteiden aiheuttamiin terveyshaittoihin. Lisäksi tehtiin kattava selvitys seuraavista käytettyjen leikkuunesteiden käsittely- ja puhdistusmenetelmistä: flotaatio, hydrosykloni, kalvosuodatusmenetelmät, kemiallinen ja sähkökoagulaatio, suodattaminen sekä haihduttaminen. Opinnäytetyön loppuosassa tehtiin käytännön saostus ja suodatuskokeita eräälle käytetylle leikkuunesteelle, joka pyrittiin käsittelemään siten, että nesteestä erotettu vesi olisi voitu johtaa jätevesiviemäriin.</p> <p>Käytännön kokeilla ei saavutettu työn alussa määritettyjä tavoitteita. Käytetystä leikkuunesteemulsiosta saatiin erotettua vesi ja öljy toisistaan, mutta ongelmana oli poistaa erotetusta vedestä riittävän hyvin metallienpitoisuuksia. Varsinkin lyijyn, kuparin ja sinkin pitoisuudet ylittivät sallitut raja-arvot.</p>			
Avainsanat leikkuunesteet, leikkuunesteiden puhdistaminen, jätehuolto			
julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Tero Reijonen			
Title of Thesis Treatment and Cleaning Methods of Spent Metalworking Fluids			
Date	26 May 2011	Pages/Appendices	49 + 0
Supervisor(s) Mr Eero Antikainen, M.Sc.			
Project/Partners Savonia UAS Faculty of Engineering and Technology R&D in Environmental Engineering			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to study treatment and cleaning methods of spent metalworking fluids. This thesis was part of the LEIKKO project (The development of recycling and waste management of metalworking fluids in metal and machine industries) of Savonia University of Applied Sciences. The aim was to make a comprehensive and wide report of different treatment methods which are used to clean spent metalworking fluids. Practical treatment experiments were made on spent metalworking fluid by using precipitation and filtering methods.</p> <p>First different fluids and the quality used in metalwork industries as well as the harmfulness of these fluids to employee health was studied. Then different treatment and cleaning methods and theory of how they work was studied. These methods are flotation, hydrocyclone, membrane filtering, coagulation, filtering and evaporation. Finally, practical experiments were done and the results of these experiments were analysed.</p> <p>This thesis did not achieve the aims which were set on it. In the practical experiments it was possible to separate the oil and water but the problem was to precipitate the dissolved metals. Especially, lead, copper and zinc concentrations exceeded the allowable limits.</p> <p>This thesis is directed to metal machinery industries and those who are responsible for waste treatment of spent metalworking fluids. This report supplements other LEIKKO project publications.</p>			
<p>Keywords</p> <p>metalworking fluids, treatment of spent metalworking fluids, waste management</p>			
public			

ALKUSANAT

Haluan kiittää työni ohjaajaa tutkimuspäällikkö Eero Antikaista, LEIKKO–hankeen vastuuhenkilöitä, projektipäällikkö Arja Ruokojärveä sekä projekti-insinööri Minna Pyykköä Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksiköstä. He ovat mahdollistaneet tämän työn tekemisen osana mielenkiintoista tutkimusprojektia sekä antaneet hyviä neuvoja ja ohjeita työn suorittamiseksi.

Lisäksi haluan kiittää aluejohtaja Pekka Hyväristä sekä prosessimies Tero Laakkosta Ekokem Oy Ab:stä. He järjestivät työskentelytilan pilot-mittakaavan kokeiden suoritusta varten sekä antoivat paljon hyödyllistä tietoa jäteleikkuunesteiden käsittelystä. Kiitän myös kaikkia projektissa mukana olleita yrityksiä ja henkilöitä hyvästä yhteistyöstä.

Kuopiossa 26. toukokuuta 2011

Tero Reijonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	LEIKKUUNESTEET	9
2.1	Leikkuunestetyypit	9
2.1.1	Lastuamisöljyt	9
2.1.2	Emulsiot	10
2.1.3	Puolisyntheettiset ja synteettiset leikkuunesteet	10
2.2	Leikkuunesteiden lisäaineet.....	11
2.2.1	Emulgaattorit ja EP-lisäaineet.....	11
2.2.2	Korroosion- ja hapettumisenestoaineet	11
2.2.3	Biosidit	12
2.2.4	Vaahdonesto-, haju- ja passivointiaineet	12
2.3	Leikkuunesteiden terveyshaitat.....	12
2.3.1	Ihosairaudet	12
2.3.2	Hengitystiesairaudet.....	13
2.3.3	HTP-arvojen käyttö arvioitaessa ilman epäpuhtauksia.....	13
3	LEIKKUUNESTEIDEN PUHDISTUSMENETELMÄT	15
3.1	Flotaatio	15
3.2	Hydrosykloni.....	16
3.3	Kalvosuodatus.....	17
3.3.1	Käänteisosmoosi	18
3.3.2	Ultrasuodatus	19
3.4	Kemiallinen koagulaatio.....	20
3.5	Sähkökoagulaatio	21
3.5.1	Sähkökoagulaatioprosessi.....	22
3.5.2	Sähkökoagulaatioon vaikuttavat tekijät.....	23
3.6	Suodattaminen	24
3.7	Haihduttaminen	25
4	ESITESTIT LABORATORIOSSA.....	26
4.1	Kemikaalisaostukset laboratoriossa.....	27
4.2	Sähkösaostukset laboratoriossa	31
5	PILOT-MITTAKAAVAN SAOSTUS- JA SUODATUSKOKEET	32
5.1	Nesteen käsittely	32
5.2	Koejärjestelyt.....	33
5.3	Näytteet.....	36
6	KULUTUS- JA KUSTANNUSLASKENTA	37

7 TULOSTEN TARKASTELU	39
8 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	47

1 JOHDANTO

Suomessa on vahva kone- ja metalliteollisuuden osaaminen ja sen piirissä työskentelee arviolta 130 000 henkilöä. Toimialan tunnettuja tuotteita ovat mm. risteilijät, paperikoneet, kaivosteollisuuden käsittelylaitteet, hissit sekä metsä- ja maatalouskoneet. Usein näiden tuotteiden valmistuksessa joudutaan käyttämään leikkuunesteitä, jotta saavutetaan tuotteiden mahdollisimman hyvä laatu sekä tuotantolaitteistojen pitkä kestävyys. Riittävän ajan kuluttua leikkuunesteiltä vaadittavat ominaisuudet heikenevät, jolloin nestettä joudutaan puhdistamaan tai vaihtamaan jopa kokonaan. Käytön jälkeen nämä jäteleikkuunesteet ovat lähes poikkeuksetta ongelmajätettä eli niiden käsittely ja hävittäminen vaatii asiantuntemusta sekä asianmukaiset käsittelymenetelmät.

Tämä opinnäytetyön tavoitteena on antaa monipuolista tietoa erilaisista leikkuunesteistä ja jätenesteiden käsittely- ja puhdistusmenetelmistä. Työn alkuosassa selvitetään käytössä olevia leikkuunesteitä ja niiden ominaisuuksia. Samalla tarkastellaan leikkuunesteiden aiheuttamia terveyshaittoja sekä tehdään kattava selvitys jätenesteiden käsittelymenetelmistä. Työn loppuosassa tehdään eräälle käytetylle leikkuunesteelle käytännön puhdistuskokeita, joiden tarkoituksena on saada jätenesteestä erotettua vesi ja öljy toisistaan sekä saada puhdistettua erotettu vesi niin hyvin, että se voitaisiin johtaa jätevesiviemäriin. Puhdistusmenetelminä käytetään kemikaleilla saostamista sekä patruunasuodatusta.

Työn tilaaja on Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikkö ja työ on osa ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön koordinoimaa LEIKKO-hanketta (Leikkuunesteiden kierrätyksen ja jätehuoltopalveluiden kehittäminen kone- ja metalliteollisuudessa), jonka tavoitteena on parantaa alan yritysten leikkuunesteiden käyttöä, kierrätystä ja jätehuoltoprosesseja kestäväkehityksen periaatteiden mukaisesti. Projekti on Tekesin ja EU:n (Euroopan aluekehitysraston EAKR) ja 7 yrityksen osarahoittama hanke. Hankkeessa mukana olevat yritykset ovat Aquator Oy, Ekokem Oy Ab, Houghton Finland Oy, Hydroline Oy, Kemira Oyj / Kemira Water Finland, Ponsse Oyj ja Toolfac Oy.

2 LEIKKUUNESTEET

Leikkuu- eli lastuamisquesteit eli tystnesteit käytetään metalli- ja konepajateollisuudessa metallikappaleiden työstämiseen. Leikkuunesteiden tärkeimpinä tehtävinä on työkalun ja tystkappaleen voitelu ja jäähdyttäminen sekä metallilastujen ja pölyn kuljettaminen pois tystkohdasta. Työkaluja ja tystkappaleita täytyy jäähdyttää, koska kuumuus kuluttaa työkaluja ja lyhentää niiden käyttöikää. Lisäksi tasainen lämpö parantaa työn mittatarkkuutta. Voitelun tarkoituksena on vähentää lämmön syntymistä sekä sitoa työstöstä syntyvät irtokappaleet ja kuljettaa ne pois. Irtonaiset lastukappaleet aiheuttavat työkalujen- ja koneiden rikkoontumisia. Voitelun ansiosta työkalujen kuluminen vähenee ja tystkohdan pinnanlaatu paranee. Nesteet myös sitovat työstöstä syntyvää metallipölyä, joka aiheuttaa siisteys- ja terveysongelmia. [1]

Leikkuunesteiden ominaisuuksien tunteminen ja niihin huomion kiinnittäminen on tärkeää, koska väärin valittu ja käytetty neste aiheuttaa monenlaisia ongelmia. Leikkuunesteet voivat aiheuttaa työntekijöille erilaisia terveyshaittoja ja sairauksia. Nesteissä olevat kemikaalit, epäpuhtaudet ja mikrobit ärsyttävät ihoa, voivat aiheuttaa hengitystieoireita sekä pahimmillaan myös syöpää. Oikein käytettynä ja oikeilla suojavarusteilla vältytään terveyshaitoilta. Tekniset ongelmat, kuten korroosio ja työkalujen rikkoutuminen sekä kuluminen, puolestaan aiheuttavat yritykselle lisäkustannuksia. Syynä on yleensä joko pilaantunut tai väärin valittu neste. Käytetyt leikkuunesteet ovat lähes poikkeuksetta ongelmajätettä, joten niiden oikeaoppinen käsittely- ja hävittäminen vähentää ympäristökuormitusta ja päästöjä luontoon. [1]

2.1 Leikkuunestetyypit

2.1.1 Lastuamisöljyt

Lastuamisljy on sekä mineraali-, kasvis sekä elinljy ja yleensä ne eivät ole vesiliukoisia. Lastuamisljy voidaan kytt joko puhtaina tai erilaisina seoksina. Lastuamisljyihin on lisätty erilaisia lisäaineita parantamaan niiden lämmön- ja paineensietokyk. Lastuamisljy käytetään pääasiassa vaativien materiaalien työstämisessä, koska silloin vaaditaan hyvää voitelukyky. ljypohjaisilla nesteillä on paremmat voiteluominaisuudet kuin emulsioilla tai synteettisillä nesteillä, mutta huonompi lämmönsietokyky. Puhtaita mineraaliöljyä käytetään kevyessä rauta- ja eirautametallien työstössä. Kasviljy käytetään lähinnä vain kostutusaineina, koska

ne ovat yleensä kalliimpia ja ne pilaantuvat helpommin. Pilaantumisen seurauksena syntyy mm. hajuhaittoja. Lastuamisöljyt ovat yleensä pitkäikäisiä, koska mikrobit eivät kasva hyvin öljyissä, ellei niihin ole sekoittunut vettä. [1]

2.1.2 Emulsiot

Emulsionesteitä saadaan lisäämällä pitkälle jalostettuun mineraali- tai kasvisöljyyn emulgaattori, jolloin vesi ja öljy muodostavat emulsion. Emulsiot toimitetaan tiivisteenä, joka sekoitetaan veteen suhteessa 1/10 - 1/20. Markkinoilla olevat kasviöljy-emulsiot ovat rypsi-, rapsi- tai mäntyöljypohjaisia. Emulsiot ovat joko maitomaisia tai läpikuultavia nesteitä. Maitomaisia ne ovat, kun pisarakoko on yli 0,1 mm ja läpikuultavia, kun pisarakoko on alle 0,1 mm. Emulsioiden lisäaineina käytetään biosideja ja korroosionestoaineita sekä yleensä EP (=korkeapaine) -lisäaineita. Emulsioiden valmistuksessa sekoitusjärjestys on tärkeä, sillä väärässä järjestyksessä sekoitetut aineet tekevät emulsiosta vääranäyttävää. Haluttaessa öljy-vedessä-emulsio, sekoitetaan emulsionestetiivistä veteen ja jos halutaan vesi-öljyssä-emulsio, on sekoitusjärjestys päinvastainen. Leikkuuneste-emulsiot ovat lähes poikkeuksetta öljy-vedessä-emulsioita. Siinä öljypisarat ovat hajaantuneena veteen eli öljypisarat ovat vesipisaroiden ympäröivänä. Emulsion muodostuksessa on tärkeää myös oikea lämpötila ja veden kovuus. Veden kovuuden tulisi olla 80 - 125 mg/l. [1]

2.1.3 Puolisynteettiset ja synteettiset leikkuunesteet

Puolisynteettinen leikkuuneste on myös rakenteeltaan emulsio, mutta emulsiotiivisteessä mineraaliöljypitoisuus on suhteessa pienempi kuin tavallisessa emulsiotiivisteessä. Puolisynteettisessä emulsiotiivisteessä on öljyä 2 % - 30 %, kun tavallisessa emulsiotiivisteessä öljyä on 30 % - 70 %. Emulgaattoripitoisuus on puolestaan suurempi kuin tavallisilla emulsioilla, jolloin pisarakoko pienenee. Tästä käytetään nimitystä mikroemulsio. Puolisynteettisissä leikkuunesteissä käytetään lisäaineina korroosionesto- ja voiteluaineita, biosideja ja EP-lisäaineita. Puolisynteettisillä leikkuunesteillä on yleensä huonompi voitelukyky kuin tavallisilla emulsionesteillä, mutta jäähdytyskyky on parempi kuin tavallisilla emulsioilla. Myös lastujen laskeutuminen pohjalle tapahtuu paremmin puolisynteettisissä leikkuunesteissä. [1]

Synteettiset nesteet eroavat rakenteeltaan siten, että ne eivät sisällä lainkaan öljyä vaan ne koostuvat erilaisista voitelevista kemikaaleista, kuten amiineista ja saippuoista. Synteettiset nesteet voidaan jakaa kolmeen luokkaan eli yksinkertaisiin liuoksiin, monimutkaisiin liuoksiin ja emulsioihin. Yksinkertaiset liuokset sisältävät orgaanisia ja

epäorgaanisia suoloja, jotka ovat liuenneena veteen. Niiden tehtävänä on suojata korroosiolta, kuljettaa syntyneet lastut pois sekä jäähdyttää. Yksinkertaisia liuoksia käytetään pääasiassa kevyessä hionnassa. Monimutkaiset liuokset sisältävät suolojen lisäksi synteettisiä voiteluaineita, jonka avulla liuoksia voidaan käyttää vaativissa tehtävissä. Synteettiset emulsiot luetaan synteettisiin leikkuunesteisiin, koska niissä ei ole mineraaliöljyjä. Rakenteeltaan ne ovat vastaavanlaisia kuin emulsiot. [1; 2]

2.2 Leikkuunesteiden lisäaineet

Leikkuunesteisiin lisätään erilaisia lisäaineita nesteiden ominaisuuksien parantamiseksi ja käyttöiän pidentämiseksi.

2.2.1 Emulgaattorit ja EP-lisäaineet

Yksi tärkeimmistä lisäaineista on emulgaattori, jota käytetään aikaansaamaan pysyvä seos öljyn ja veden välille. Emulgaattorit pienentävät pisaroiden pintajännitystä sekä pisaroiden kokoa. Tärkeimmät emulgaattorit ovat saippuat, synteettiset vesipesuaineet ja rasva-alkoholit. Toinen yleisesti käytetty lisäaineryhmä on EP-lisäaineet (Extreme pressure = paineensietokyky). Niitä käytetään voitelun parantamiseksi korkeissa lämpötiloissa ja paineissa, koska orgaaniset voiteluaineet menettävät vaikutuksensa jo 150 °C lämpötilassa. EP-lisäaineina käytetään rikkiä, klooria ja fosforia sisältäviä yhdisteitä. Muutamia EP-lisäaineita voidaan käyttää jopa 1 000 °C:n lämpötiloissa. [1; 2]

2.2.2 Korroosion- ja hapettumisenestoaineet

Leikkuunesteisiin on lisättävä korroosionestoaineita silloin, kun käytetään synteettisiä nesteitä tai runsaasti vettä sisältäviä emulsioita. Korroosionestoaineet suojaavat työstökappaletta ja työstökonetta korroosiolta muodostamalla metallin pinnalle joko suojaavan kalvon tai oksidikerroksen. Ruosteenestoaineina käytetään kromiyhdisteitä, nitraatteja, fosfaatteja sekä boraatteja. Myös emulgaattoreita voidaan käyttää ruosteenestoaineina. Leikkuunesteisiin lisätään hapettumisenestoaineita estämään orgaanisten aineiden hapettuminen. Hapettumista tapahtuu, kun orgaaniset aineet ovat kosketuksessa hapen ja reaktiivisten metallien kanssa. Tällöin niiden koostumus muuttuu ja ne menettävät tehonsa. Usein seurauksena on öljypohjaisten voiteluaineiden viskositeetin muuttuminen ja happamien sivutuotteiden syntyminen. Hapettumisenestoaineina käytetään sulfaatteja, fosfaatteja ja amiineja. [1; 2]

2.2.3 Biosidit

Leikkuunesteisiin lisätään bakteereita ja sieniä tappavia aineita, biosideja, estämään näiden muodostumista nesteeseen. Bakteerit ja sienet kuluttavat nesteestä orgaanista aineista ja lyhentävät lastuamisnesteen käyttöikää. Biosidit eivät pysty täysin estämään bakteerien ja sienien muodostumista, mutta hidastavat niiden kasvua. Biosideja on ajoittain lisättävä leikkuunesteen sekaan, jotta saadaan pidennettyä nesteen käyttöikää. Haittapuolena on, että biosidit aiheuttavat allergiaa ja muita terveyshaittoja. Biosidien oikea pitoisuus on tärkeää, ja pitoisuuden muuttumista on seurattava käytönaikana. [1; 2]

2.2.4 Vaahdonesto-, haju- ja passivointiaineet

Vaahdonestoaineita lisätään emulsioihin ja synteettisiin leikkuunesteisiin estämään voimakasta vaahtoutumista, joka on ongelma varsinkin kun käytetään pehmeää vettä, joka on yleistä Suomessa. Vaahdonestoaineina käytetään silikoniöljyjä, vahaemulsioita, suoloja ja kalkkiyhdisteitä. Leikkuunesteiden omaa ja bakteeritoiminnan synnyttämää pahaa hajua pyritään estämään lisäämällä leikkuunesteisiin hajuaineita. Varsinkin bakteeritoiminnan aiheuttamien rikkiyhdisteiden hajut on hyvin ongelmallisia. Eräät leikkuunesteiden lisäaineet ja niihin kertyneet vieraat aineet reagoivat työstettävän materiaalin kanssa värjäten niitä. Värjäytymisen estämiseksi leikkuunesteisiin lisätään passivointiaineita. Passivointiaineina käytetään sekundäärisiä amiineja, heterosyklistä rikkiä ja typpiyhdisteitä. [1; 2]

2.3 Leikkuunesteiden terveyshaitat

Leikkuunesteet saattavat aiheuttaa työntekijöille erilaisia terveyshaittoja, kuten ihottumaa, silmien ärsytystä ja hengitystiesairauksia. Terveyshaittoja aiheuttavat leikkuunesteissä olevat kemialliset aineet, nesteissä olevat epäpuhtaudet, kuten vuotoöljyt ja raskasmetallit. Myös nesteissä olevat mikrobit voivat aiheuttaa työntekijöille terveyshaittoja. Haittoja pystytään ehkäisemään käyttämällä asianmukaisia suojavarusteita ja käsittelemällä nesteitä huolellisesti. Myös oikealla nesteen valinnalla ja käytönaikaisella ylläpidolla + seurannalla voidaan ehkäistä terveyshaittoja. [1]

2.3.1 Ihosairaudet

Yleisin leikkuunesteiden aiheuttama terveysongelma on ihottuma. Ihottumaa aiheuttaa nesteiden liian korkea alkalisuus, nesteissä käytettävät liuottimet, nesteisiin liuen-

neet metallit ja nesteissä käytetyt lisäaineet. Ihottuma ilmenee työntekijöillä kahdella eri tavalla, ärsytyskosketusihottumana ja allergisena kosketusihottumana. Ärsytyskosketusihottuma ilmenee iholla voimakkaana punoituksena tai näppylöinä ja se johtuu ihon suorasta kosketuksesta leikkuunesteen kanssa. Allerginen kosketusihottuma ilmenee työntekijöillä samalla tavalla ärsytysihottuma ja niiden erottaminen vaatii yleensä lääkärissä käyntiä ja ihotestien tekemistä. Ihottumien eroavaisuutena voidaan pitää, että ärsytysihottuma yleensä ilmenee viimeistään kahden vuoden altistumisen aikana ja allerginen ihottuma vasta muutaman vuoden altistumisen jälkeen. [1; 3]

2.3.2 Hengitystiesairaudet

Hengitystieoireita leikkuunesteissä aiheuttaa öljysumun lisäksi myös nesteissä kasvavat mikrobit ja gram-negatiivisten bakteerien hajoamistuotteet eli endotoksiinit. Varsinkin avonaisilla työstökoneilla työskenneltäessä voi ilman endotoksiini ja mikrobi pitoisuudet nousta korkeiksi, jos työstössä syntyy öljysumua. Mikrobit aiheuttavat hengitystieinfektioita ja huonon hygienian kanssa mahdollisesti myös ruuansulatuskanavan infektioita ja sairauksia. Lisäksi mikrobit voivat aiheuttaa kurkkukipua, yskää ja nuhaa sekä kroonisia sairauksia kuten astmaa ja kroonista keuhkoputkentulehdusta. Vaikka nykyisissä leikkuunesteissä käytetään biosidejä, eivät ne pysty täysin estämään mikrobeiden lisääntymistä leikkuunesteissä. Lisäksi biosidien lisääminen nesteisiin ei ole yksiselitteinen ratkaisu terveysongelmiin, koska myös biosidit aiheuttavat terveysongelmia. Tunnetuin biosidi, formaldehydi ärsyttää voimakkaasti ylempiä hengitysteitä. Formaldehydi on myös voimakas kosketusallergeeni, joka voi herkistää hengitysteitä ja altistaa ihottumalle. Jo pienetkin pitoisuudet voivat aiheuttaa työntekijälle astmaa, hengitysvaikeuksia ja ihottumaa, jos henkilö on aikaisemmin altistunut formaldehydille. [1; 2; 3]

2.3.3 HTP-arvojen käyttö arvioitaessa ilman epäpuhtauksia

Leikkuunesteet pääsevät työskentelypaikan ilmaan aerosoleina ja öljysumuna, joita vapautuu työstön yhteydessä. Ilmaan vapautuvat epäpuhtaudet ovat usein mm. endotoksiineja, formaldehydeja, etanoliamiineja, öljysumua ja pölyä. Leikkuunesteille ei ole asetettu HTP-arvoja, mutta leikkuunesteiden haitallisuutta voidaan arvioida vapautuvien epäpuhtauksien mukaan. HTP-arvo eli haitalliseksi tunnettu pitoisuus on sosiaali- ja terveysministeriön antama arvioitu pitoisuus hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle. HTP-arvot ilmoitetaan, joko hetkellisen keskipitoisuu-

den, viidentoista minuutin tai kahdeksan tunnin arvona. Yleensä arvot ilmoitetaan 8 h arvoina. Taulukossa 1 on ilmoitettu metallintyöstössä vapautuvien epäpuhtauksien HTP-arvot sekä keskimääräinen pitoisuus, jolle työntekijä yleensä altistuu. [4; 5; 6]

TAULUKKO 1. Metallintyöstössä useasti esiintyvien epäpuhtauksien HTP 8 h-arvoja sekä työntekijän tyypillinen altistumistaso kyseiselle epäpuhtaudelle. [7]

Altiste	HTP-arvo (8 h)	Tyypillinen altistumistaso
Etanoliamiini	2,5 mg/m ³	Yhteispitoisuus: 0,15 mg/m ³
Dietanoliamiini	2,0 mg/m ³	
Trietanoliamiini	5 mg/m ³	
Morfoliini	36 mg/m ³	
Formaldehydi	0,37 mg/m ³	0,040 mg/m ³
Öljysumu	5 mg/m ³	0,14 mg/m ³
Pöly	5 ja 10 mg/m ³	0,78 mg/m ³
Kobolttimetalli	0,05 mg/m ³	0,017 mg/m ³
Kromimetalli	0,5 mg/m ³	< 1 % HTP-arvosta
Nikkelimetalli	1 mg/m ³	< 1 % HTP-arvosta
Endotoksiini	200 EU/m ³ *	

* Alankomaissa voimassa oleva raja-arvo

Endotoksiini pitoisuuksille ei ole Suomessa määritelty HTP-arvoja vaan pitoisuuksia verrataan Alankomaissa olevaan raja-arvoon 200 EU/m³ (EU = Endotoxin Unit, endotoksiiniyksikkö). Suurin osa metallintyöstäjistä altistuu HTP-arvoja pienemmille pitoisuuksille. Työntekijöiden altistumista voidaan ehkäistä seuraamalla leikkuunesteiden laatua, koteloimalla työstökoneita, huolehtimalla hyvästä kohdepoistosta ja käyttämällä öljysumerottimia. [4; 5; 6]

3 LEIKKUUNESTEIDEN PUHDISTUSMENETELMÄT

Käytöstä poistettu leikkuuneste luokitellaan ongelmajätteeksi. Käytettyä leikkuunestettä ei saa johtaa viemäriin vaan se on käsiteltävä tai puhdistettava asianmukaisin keinoin. Ongelmajätteen käsittely vaatii jätelain- ja asetuksen mukaiset luvat, joten yleensä ne toimitetaan hyväksytylle jätteen vastaanottajalle. Leikkuunesteiden käsittely vaatii myös paljon osaamista ja sopivia laitteita, joten niiden käsittely Suomen konepajoissa ei ole yleistä. Leikkuunesteiden jäteliuosten puhdistukseen voidaan käyttää useita eri menetelmiä tai laitteita. Seuraavaksi tutustutaan tarkemmin yleisesti käytössä oleviin puhdistusmenetelmiin.

3.1 Flotaatio

Flotaatiossa käytetään öljyn ja veden erottamisessa hyvin pieniä ilmakuplia. Yleisimmin flotaatiossa käytetään korkeapaineella muodostettuja ilmakuplia. Tästä menetelmästä käytetään nimitystä DAF-flotaatio (Dissolved Air Flotation). Flotaatiossa joko koko käsiteltävä nestemäärä tai osa siitä paineistetaan ja paineistettuun nesteeseen lisätään ilmaa. Paineistettu vesi syötetään flotaatioaltaan pohjalle, jolloin lisätty ilma alkaa vapautua pieninä kuplina jätenesteeseen sitoen öljypisarat itseensä ja nostaen ne pinnalle. Vapautuvat pisarat ovat kooltaan noin 10 - 100 µm. Pinnalla pisaroiden koko vielä kasvaa törmätessään toisiin pisaroihin. Pinnalle syntynyt flokki poistetaan erilaisilla öljynkuorijoilla eli skimmereillä. Flotaatiota voidaan tehostaa lisäämällä nesteeseen erilaisia kemikaaleja. Useimmiten lisätään alumiini- ja rautasuoloja sekä polymeerejä. Enimmäkseen flotaatiossa käytetään ilmakuplien synnyttämiseen ilmaa, mutta ilman sijasta voidaan käyttää myös happea tai hiilidioksidia. Flotaatiota käytettäessä on huomioitava leikkuunesteiden kemialliset ominaisuudet, koska kaikki nesteet eivät kestä ilmastusta tai niiden lisäaineet voivat haitata kuplien syntymistä. [1; 8; 9]

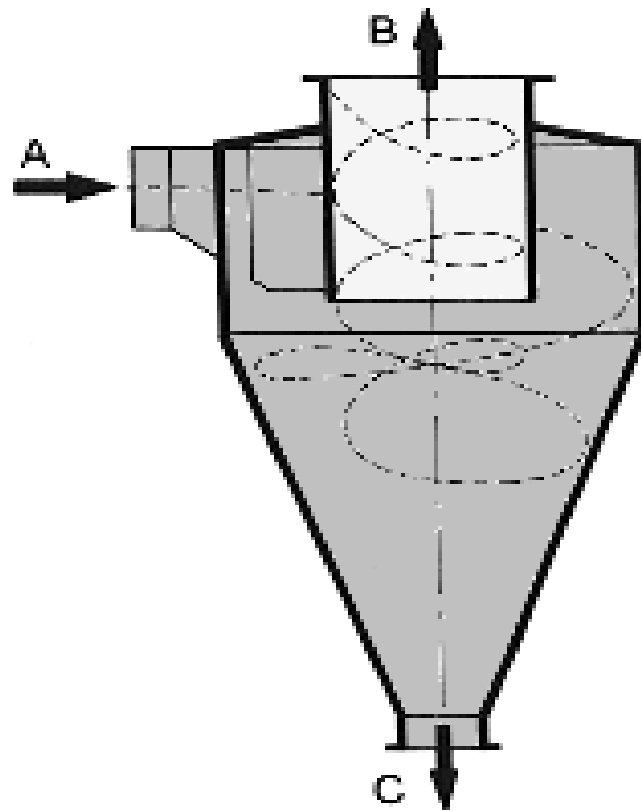
Syntyvien ilmakuplien koko vaikuttaa oleellisesti flotaatioprosessiin. Oikea kuplakoko täytyy valita erotettavan kiintoaineksen mukaa. Yleensä flotaatiossa käytetään alle 100 µm kuplia, koska pienemmät kuplat nousevat nopeammin ja silloin flokkaukselle jää enemmän aikaa. Pienet kuplat myös tunkeutuvat paremmin flokkien sisään ja niitä on myös määrällisesti enemmän, jolloin törmäys flokkiin on todennäköisempi. Kuplakokoon vaikuttaa veden ja ilman välinen pintajännitys, ilman liuotuspaine sekä suuttimen rakenne. Painetta nostamalla tai pintajännitystä vähentämällä voidaan pienentää energiaa, jota ilmakuplien synnyttäminen tarvitsee. Paine ei saa olla liian suu-

ri, koska kuplat voivat muuten särkyä. Liian pieni paine puolestaan ei muodosta sopivan kokoisia ilmakuplia. Yleensä flotaatioprosessissa käytetään 200 - 500 kPa painetta. [8; 9]

Eräässä tutkimuksessa öljy-vesi-emulsion erotukseen käytettiin alumiini- ja ferrisulfaattia flotaation kemialliseen esikäsitelyyn. Menetelmällä voitiin poistaa öljy jopa yli 99-prosenttisesti, koska alumiini- ja ferrisulfaatti alentaa öljypisaroiden negatiivista zetapotenti-aalia. Zetapotentiaalin alenemisen johdosta emulsion stabiilisuus heikkenee. [8]

3.2 Hydrosykloni

Hydrosyklonin toiminta perustuu fysikaalisiin ominaisuuksiin. Hydrosykloni on kartion muotoinen laite, jonka sisällä leikkuuneste kiertää suurella nopeudella (kuva 1, sivulla 17). Hydrosyklonissa neste tulee laitteen yläpäästä tangentiaalisesti laitteen sisälle. Neste ajautuu keskipakovoiman ansiosta nopealla vauhdilla laitteen seinämille, jonka jälkeen neste ja siitä irronneet kiintoainekset virtaa kammiossa alaspäin. Alaosassa on pieni reikä, josta kiintoainekset sekä vain osa leikkuunesteestä poistuu laitteesta. Sisään jäänyt puhdasneste ajautuu syklonin keskelle ja lähtee nousemaan kammiossa ylöspäin keskellä olevan matalapaineen avulla. Lopulta neste poistuu syklonista yläosan poistoaukosta. Alaosan reikä tehdään mahdollisimman pieneksi, jotta siitä poistuisi mahdollisimman vähän leikkuunestettä kiintoaineksen mukana. Siitä huolimatta reiästä saattaa poistua jopa 10 % leikkuunesteestä. Hydrosyklonin etuna on sen yksinkertaisuus, koska siinä ei ole helposti rikkoontuvia osia. Optimaalisissa olosuhteissa hydrosyklonilla päästään 10 - 20 µm:n erotusasteeseen eli sillä voidaan erottaa yli 10 µm:n suuruiset partikkelit. Hydrosykloni ei sovellu leikkuuneste-emulsioiden hajottamiseen vaan sitä käytetään pääasiassa kiinteiden partikkeleiden erottamiseen nesteestä. Tecalemit Environment Oy tuo Suomeen Arboga-Darenthin valmistamaa hydrosyklonia. Laitteella voidaan käsitellä leikkuunesteitä 30 - 450 litraa minuutissa. [1; 8]



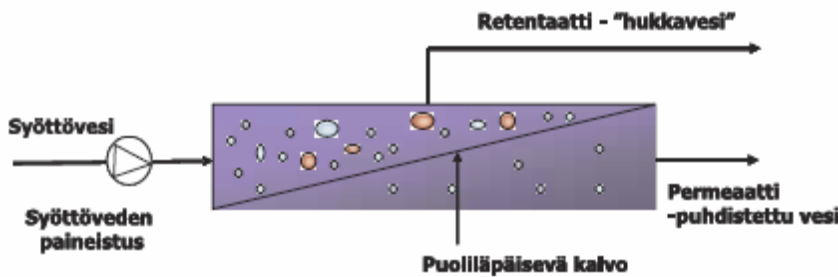
- A = Käsiteltävän nesteen syöttö
 B = Puhdistettu neste
 C = Erotettu kiintoaine

KUVA 1. Hydrosyklonin toimintaperiaate [17]

3.3 Kalvosuodatus

Kalvosuodatusta voidaan käyttää leikkuunesteiden puhdistamiseen ja veden ja öljyn erottamiseen toisistaan. Veden ja öljyn erotus voidaan suorittaa paineen-, lämpötilan-, sähköisen potentiaalieron- tai konsentraatioeron avulla. Kalvosuodatuksen etuna on sen alhainen energian kulutus verrattuna muihin menetelmiin, prosessiin ei tarvitse lisätä ylimääräisiä kemikaaleja ja sen toiminta on yksinkertaista. Kalvosuodatuksesta on monta erilaista prosessisovellusta, mutta yhteistä kaikille prosesseille on, että prosessissa kalvo toimii suodattimena. Sivulla 18 olevassa kuvassa 2. on esitetty kalvosuodatuksen toimintaperiaate. Johdattaessa leikkuuneste kalvon läpi, neste läpäisee kalvon, mutta suodattaa siitä suurimman osan kiintoaineista ja epäpuhtauksista, jotka jäävät kalvon toiselle puolelle. Suodattuneesta nesteestä käytetään myös nimitystä permeaatti. Syötetystä nestemäärästä kaikki eivät suodatu kalvon läpi vaan osa jää kalvon syöttöpuolelle. Suodattumaton neste eli retentaattivesi poistetaan yhdessä epäpuhtauksien kanssa laitteistosta ja kierrätetään takaisin uutta suodatusta varten. [10; 11]

Kalvosuodatuksessa useimmiten käytetty erotusmenetelmä on poikittaisvirtasuodatus. Tätä menetelmää käytetään käänteisosmoosissa ja ultrasuodatuksessa. Prosessissa käsiteltävä neste syötetään korkealla virtausnopeudella puoliläpäisevän kalvon läpi. Korkealla virtausnopeudella pyritään säätelemään kalvon päälle syntyvää flokin määrä ja estämään kalvon tukkeutuminen. Tukkeutumista estetään myös poikittaisvirtauksella, mutta tästäkin huolimatta laitteisto on puhdistettava säännöllisesti. Puhdistus suoritetaan vastakkaishuuhtelulla tai kemiallisella pesulla. [10; 11]



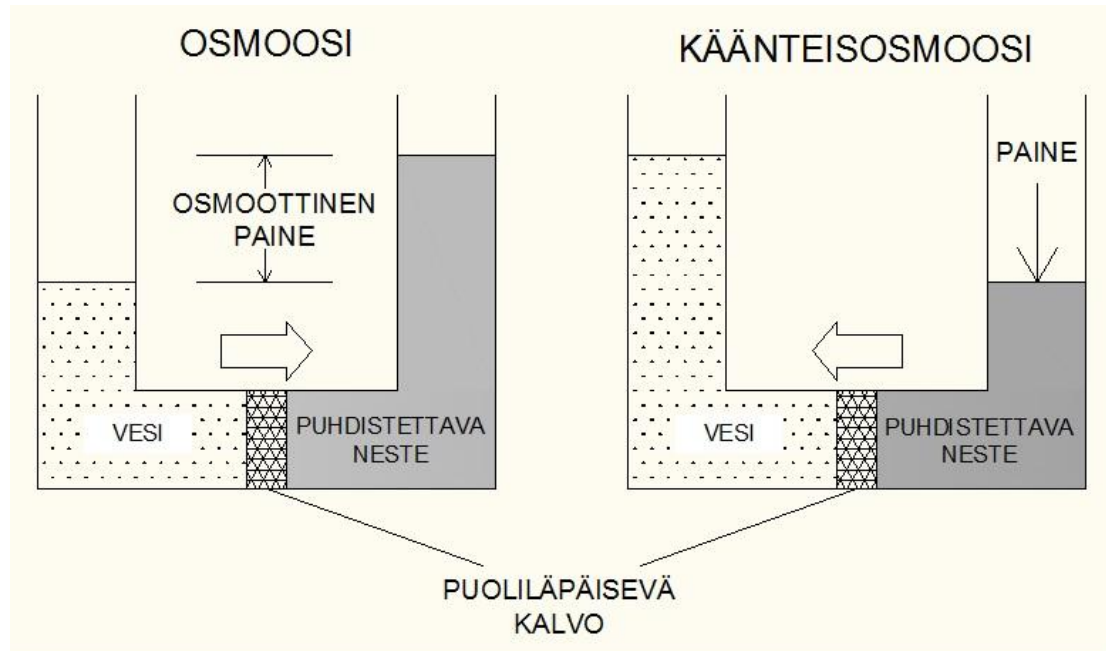
KUVA 2. Kalvosuodatuksen toimintaperiaate [11]

Normaalisuodatuksessa koko puhdistettava nestemäärä syötetään paineella kohtisuoraan suodatuskalvoon nähden. Osa kiintoaineista ja epäpuhtauksista eivät suodatu kalvon läpi vaan jäävät kalvon pinnalle. Suodattumaton kiintoainemäärä riippuu kalvon huokoskoosta. Jatkuvan syötön ja pitkän käsittelyajan myötä kalvon pinnalle kerääntyy niin paljon kiintoainesta, ettei kalvo pysty enää suodattamaan nestettä. Silloin kalvo täytyy puhdistaa hydraulisesti, fysikaalisesti tai kemiallisesti. [8; 10]

3.3.1 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosi (reverse osmosis, RO) on päinvastainen prosessi osmoosille. Osmoosissa puhdasta vettä syötetään puoliläpäisevän kalvon läpi, jolloin se pyrkii tunkeutumaan puhdistettavan veden puolelle. Tällöin puhdistettavan veden puolelle syntyy paine, josta käytetään nimitystä osmoottiseksi paineeksi. Tätä tapahtumaketjua kutsutaan osmoosiksi. Sivulla 19 olevassa kuvassa 3. on havainnollistettu osmoosin ja käänteisosmoosin prosessia. Käänteisosmoosi prosessissa paine (2 - 5 MPa) syötetään puhdistettavan veden puolelle, jolloin aineen kulkeutuminen kalvon läpi puhtaalle puolelle alkaa. Prosessi jatkuu niin kauan kuin osmoottinen paine pystytään ylittämään. Kun osmoottinen paine ja neste pintojen hydrostaattinen ovat yhtä suuret niin puhdistus lakkaa.

Puoliläpäisevä kalvo pidättää nesteestä suuri molekyyliset partikkelit paineistetun nesteen puolelle ja suodattaa pieni molekyyliset aineet, kuten veden puhtaalle puolelle. Suodatetun nesteen molekyylikoko riippuu kalvon huokoskoosta. Käänteisosmoosi kalvojen ohjeellinen huokoskoko on alle 2 nm. [8; 10]



KUVA 3. Osmoosin ja käänteisosmoosin toimintaperiaate. Kuva Tero Reijonen

3.3.2 Ultrasuodatus

Ultrasuodatus on toimintatavaltaan hyvin samanlainen prosessi kuin käänteisosmoosi. Ultrasuodatuksessakin neste johdetaan puoliläpäisevän kalvon läpi, joka suodattaa nesteestä kiintoaineet ja epäpuhtaudet. Suurimmat erot ultrasuodatuksen ja käänteisosmoosin välille tulee käytettävistä kalvoista ja erottuvien aineiden molekyylipainon välille. Käänteisosmoosissa käytetään tiiviimpiä ja kalliimpia kalvoja kuin ultrasuodatuksessa, jossa kalvot ovat huokoisempia ja hinnaltaan halvempia. Kalvojen huokoisuudesta johtuen ultrasuodatuksessa voidaan käyttää pienempää syöttöpainetta kuin käänteisosmoosissa. Ultrasuodatus on hyvin toimintavarma menetelmä ja sillä voidaan poistaa jopa 40 - 70 % veden sisältämästä öljystä, jolloin poistettavan jätteen tilavuus voi vähentyä 1/40 - 1/200 osaan alkuperäisestä tilavuudesta. [10]

3.4 Kemiallinen koagulaatio

Kemiallisessa koagulaatiossa pyritään sopivaa kemikaalia käyttäen saamaan aikaan sakka, johon kolloidi- ja suspensiomuodossa olevat epäpuhtaudet pidättyvät. Kemikaalin tehtävänä on myös neutraloida epäpuhtauksien sähkövaraus, jotta hiukkaset yhdistyisivät toisiinsa ja pidättäytyisivät syntyneeseen sakkaan. Kemikaalin lisäyksen jälkeen nestettä vielä hämmentäen saadaan aikaan suurempia sakkahiutaleita eli flokkeja, jotka poistetaan seoksesta selkeyttämällä ja suodattamalla. [12]

Hiukkaset pystyvät liittymään toisiinsa ja saostumaan vedestä, jos niiden zeta-potentiaali neutraloidaan tai pienennetään riittävästi sopivalla elektrolyytillä. Zeta-potentiaali on hiukkasen ionikerroksen ulkopinnan ja ionipilven ulkopinnan välinen potentiaaliero. Potentiaalieron suuruus riippuu hiukkasen varauksesta ja ionikerroksen ulkopinnan ja ionipilven ulkopinnan välisestä etäisyydestä. Koagulaatioon vaikuttavia tekijöitä ovat käytettävän kemikaalin tyyppi ja määrä, pH, jäteveden kemiallinen koostumus sekä koaguloimisolosuhteet. Koagulaatiossa kemikaaleina käytetään yleensä alumiini- ja rautasuoloja, esim. alumiinisulfaattia ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ja ferrosulfaattia (FeSO_4). Koagulaatio kemikaali syötetään pikasekoituksen yhteydessä. Lisäksi koaguloinnissa käytetään apuaineina suurimolekyyllisiä orgaanisia polymeerejä. Apuaineita joudutaan lisäämään, koska saostuksessa syntynyt flokki on yleensä hienoja-koista, helposti hajoavaa sekä huonosti laskeutuvaa. Flokin kokoa kasvatetaan apuaineiden lisäksi myös hämmentämällä eli sekoittamalla nestettä hitaasti. Hämmennyksen avulla flokit joutuvat pyörimisliikkeeseen ja törmäilevät toisiinsa, jolloin flokin koko kasvaa. [12]

Leikkuunesteiden koaguloinnissa käytetään yleensä hapon ja saostuskemikaalin yhdistelmää. Hapotuksella nesteen pH-pitoisuus lasketaan lähelle 2:ta, jolloin leikkuunesteen vesi-öljy-emulsio rikkoontuu ja saostus tehostuu. pH:n laskun jälkeen nesteeseen lisätään saostuskemikaali, jolla saadaan sidottua nesteestä epäpuhtauksia kuten öljyjä ja metalleja. Koaguloinnin apuaineina käytetään polymeerejä, joilla saadaan kasvatettua flokin kokoa. Lisäksi polymeereillä pyritään vahvistamaan flokkia ja sitomaan siihen metalleja. pH:n nostamiseen kemikaalina käytetään emästä, yleensä natriumhydroksidia (NaOH) eli lipeää. pH:n nostaminen on tärkeää, koska eri metallit saostuvat erilaisella pH-alueella. Taulukossa 2, sivulla 21 on esitetty tärkeimpien metallihydroksidien pH-alueet, jossa saostuminen tapahtuu. Taulukossa on esitetty pH-alue, missä saostuminen alkaa, saostumisen varsinainen pH-alue sekä missä pH:ssa metalli alkaa liueta uudestaan nesteeseen. [13]

TAULUKKO 2. Tärkeimpien metallihydroksidien saostumisen pH-alueet [13]

Metalli- ioni	pH-arvo		
	Saostuminen alkaa	Varsinainen saostumisalue	Uudelleen liukeneminen
Fe^{3+}	2,8	3,5	-
Sn^{2+}	3,9	Kolloidinen	10,6
Al^{3+}	4,3	4,8	8,5
Cr^{3+}	5,5	6,3 - 6,5	9,2
Be^{2+}	5,8	ei määr.	-
Cu^{2+}	5,8	7,5	-
Zn^{2+}	7,4 - 7,6	7,9 - 8,3	>11
Fe^{2+}	ei määr.	n. 9	-
Ni^{2+}	7,8	9,3	-
Pb^{2+}	5,5 - 7,0	6,5 - 9,5	-
Cd^{2+}	7,0 - 9,1	7,2 - 9,8	-
Ag^+	9,25 - 9,5	ei määr.	-

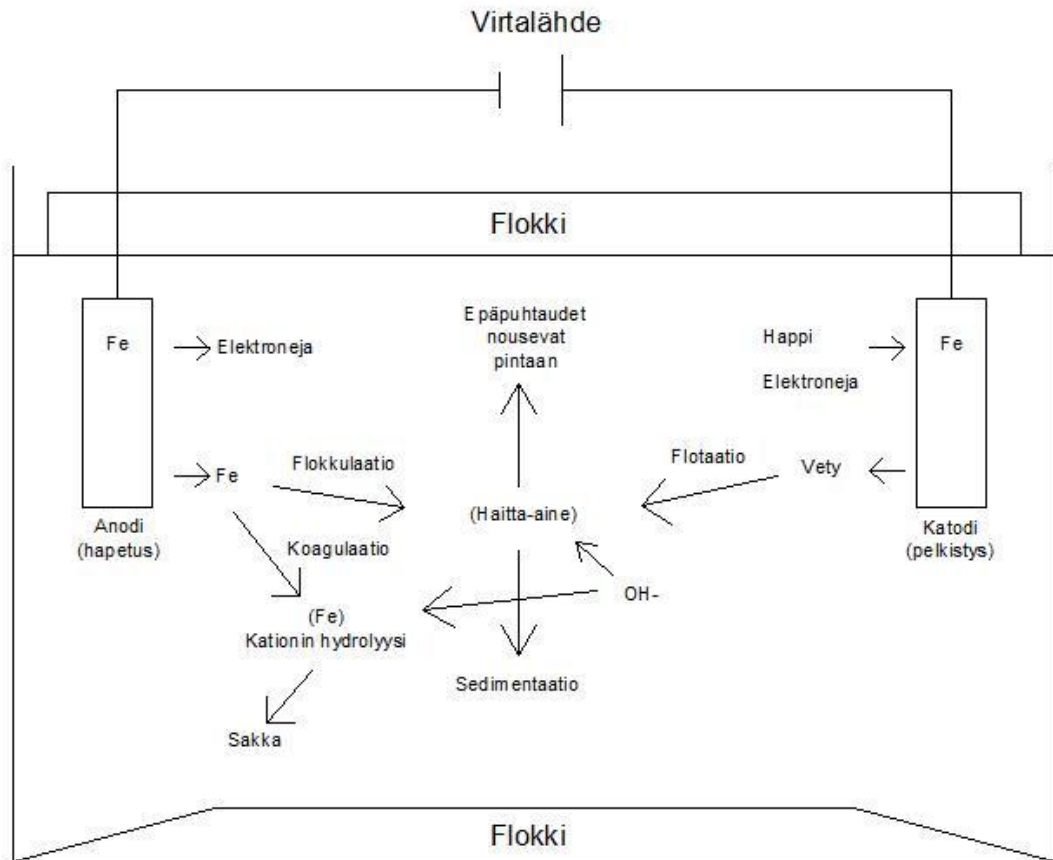
3.5 Sähkökoagulaatio

Sähkökemiallisista puhdistusmenetelmistä sähkökoagulaation on todettu olevan hyvä menetelmä kolloidisten partikkelien, rasvojen ja öljyjen erottamiseen vedestä. Sähkökemiallinen koagulaatio on hyvä vaihtoehto korvaamaan kemiallista koagulaatiota. Maailmalla on tehty erilaisia vertailuita kemiallisen- ja sähkökemiallisen koagulaation välillä. Monessa vertailussa sähkökemiallisen koagulaation on todettu olevan parempi ja tehokkaampi jätevesien puhdistuksessa. Menetelmän hyvinä puolina pidetään suhteellisen pieniä käyttökustannuksia, tarvittavien kemikaalien määrä on pienempi kuin kemiallisessa koaguloinnissa sekä flokin muodostuminen sekä flokin pysyvyys on parempi kuin kemiallisessa koagulaatiossa. Menetelmän heikkouksina pidetään hapettumisesta johtuvaa elektrodien kulumista, jolloin huoltovälit lyhenevät. Sähkön hinnan vaihtelu ja kehitys vaikuttaa voimakkaasti käyttökustannuksiin, lisäksi sähkökemiallinen koagulaatio vaatii puhdistettavalta nesteeltä hyvää sähkönjohtokykyä,

mikä vaatii suolojen kuten natriumkloridin (NaCl) tai natriumsulfaatin (Na_2SO_4) lisäystä nesteeseen. [14]

3.5.1 Sähkökoagulaatioprosessi

Sähkökemiallinen koagulaatio on prosessina hyvin samanlainen kuin kemiallinen koagulaatiokin. Prosessien välinen ero tulee koagulantin lisäystavasta. Kemiallisessa koagulaatiossa kemikaali lisätään erillisinä annoksina, jolloin kemiallisia reaktioita alkaa tapahtua rajallinen määrä ja reaktiot loppuvat, kun liuos saavuttaa tasapainotilan. Sähkökemiallisessa koagulaatiossa koagulanttia liukenee nesteeseen jatkuva-toimisesti, jolloin myös saostusprosessi on jatkuvaa. Sähkökoagulaatioprosessiin ei tarvitse lisätä ylimääräistä saostuskemikaalia vaan flokin muodostuminen tapahtuu sähkökentässä elektrodeilta vapautuvien koagulanttien reaktioissa. Sivulla 23 olevassa kuvassa 4. on esitetty sähkökoagulaation aikana tapahtuvia fysikaalisia ja kemiallisia reaktioita. Metalli-ionit liukenevat nesteeseen anodilla tapahtuvan elektrolyyttisen hapettumisen johdosta. Hapettumisen saa aikaan prosessiin tuotu sähkövirta. Veden ja metalli-ionien hydrolyysissä syntyy metallihydrokseja, jotka pystyvät reagoimaan muiden molekyylien kanssa hydrolyysi-, elektrolyysi- ja ionisaatioprosesseissa. Prosessin alkuvaiheessa katodilla tapahtuu epäpuhtauksina olevien kationisten metallien pelkistyminen. Prosessin edetessä anodilta vapautuu enemmän metalli-ioneita ja metallihydrokseja syntyy enemmän, jolloin epäpuhtauksien saostuminen nopeutuu. Jos prosessissa elektronien materiaalina on rauta, hapettavat happimolekyylit prosessin lopussa sakassa olevan ferroraudan ferri-ioneiksi, jolloin liuoksen väri muuttuu punertavaksi. Prosessissa syntyneet hydroksidit ja niiden polymeerit saostavat tehokkaasti liuoksessa olevia kolloidisia epäpuhtauksia. Katodilta syntyvät vetykuplat kiinnittävät itseensä prosessissa syntyneen flokin ja nostavat ne pintaan eli tapahtuu flotaatiota. Anodilta vapautuva happi puolestaan muodostaa hydroksyyli-ioneita (OH^-). Metalleja, suoloja ja muita epäpuhtauksia sisältävä sakka poistuu liuoksesta flotaation lisäksi myös laskeutumalla astian pohjalle. [14]



KUVA 4. Sähkökoagulaation aikana tapahtuvia prosesseja ja reaktioita.

Kuva Tero Reijonen

3.5.2 Sähkökoagulaation vaikuttavat tekijät

Sähkökoagulaation ja sen onnistumiseen vaikuttaa moni eri tekijä. Yleensä käsiteltävät jätevedet ja varsinkin leikkuunesteitä käsiteltäessä, täytyy sähkökoagulaatio prosessi yksilöidä jokaiselle nesteelle erikseen. Yleensä prosessiin joudutaan lisäämään ylimääräisiä kemikaaleja, jotta prosessi onnistuisi. Prosessiin syötettävän virran määrä vaikuttaa myös sähkökoagulaatioon. Suuremmalla virran määrällä koagulointi tehostuu, mutta käytettävien komponenttien käyttöikä lyhenee ja hukkaenergian määrä kasvaa. Virta vaikuttaa myös kaasukuplien muodostumiseen ja molekyylien nopeuteen liikkumiseen nesteessä. Liuksen pH vaikuttaa sähkövirran kulkuun, metallihydroksidien liukoisuuteen ja koaguloitumisreaktioihin. pH vaikuttaa myös kaasukuplien syntymiseen. pH:n ollessa neutraali, kuplat ovat pienempiä. pH:n kohotessa kuplien koko alkaa kasvaa.. Kuplakoko vaikuttaa niiden kykyyn sitoa itseensä epäpuhtauksia. Sähkönjohtokyky vaikuttaa tarvittavan virran määrään. Hyvällä sähkönjohtokyvyllä voidaan vähentää sähkönkulutusta. Nesteen sähkönjohtokykyä voidaan nostaa lisäämällä liukseen natriumkloridia (NaCl) tai natriumsulfaattia (Na₂SO₄). Elektro-

lyysiaika eli käsittely aika pyritään pitämään mahdollisimman lyhyenä, koska se vaikuttaa sähkönmäärään ja prosessin kokonaiskestoon. Elektrodiin materiaali, koko, muoto ja niiden välinen etäisyys myös vaikuttavat sähkökoagulaation onnistumiseen. Yleensä elektrodien materiaalina käytetään rautaa, alumiinia tai näiden yhdistelmää. Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat sähkökoagulaatioon ovat: lämpötila, käytettävän sähkövirran tyyppi eli käytetäänkö tasa- vai vaihtovirtaa, nesteen sekoitus sekä jätenesteessä olevat yhdisteet ja niiden pitoisuudet. [14]

3.6 Suodattaminen

Suodattaminen tapahtuu johtamalla neste suodattimen läpi, johon nesteessä olevat epäpuhtaudet ja kiintoaine jäävät. Syväsuodattimessa neste johdetaan suodattimeen, jolloin epäpuhtaudet tunkeutuvat syvälle suodatinmateriaaliin ja kiinnittyvät siihen mekaanisesti tai adsorptiovoimien avulla. Suodatinmateriaali on yleensä huokoista tai kuitumaista. Kuitumainen suodatin muodostaa laajan verkoston, jossa neste kiertää ja epäpuhtaudet pidäytyvät sen seinämille. Suodattimen tukkeutumista voidaan seurata paine-eron avulla. Painea seurataan ennen ja jälkeen suodatinta. Puhdassa ja toimivassa suodattimessa paineet ennen ja jälkeen ovat lähes yhtä suuria, mutta paine-eron kasvaessa suodatin alkaa tukkeutua. Käytettyjen leikkuunesteiden puhdistuksessa ainoastaan suodattimen käyttäminen ei yleensä riitä vaan puhdistus vaatii lisäksi toisen menetelmän käyttöä. Apumenetelmänä voidaan käyttää esimerkiksi kemiallista koagulaatiota. Tämän työn kokeellisessa osuudessa tutkitaan kemiallisen koagulaation ja syväsuodatuksen toimivuutta käytettyjen leikkuunesteiden puhdistuksessa. [15]

Suodatuksen nopeuteen vaikuttaa suodatinmateriaalin pinta-ala, käytettävä paine, suodatettavan aineen viskositeetti ja suodatinkalvon paksuus. Kasvattamalla suodattimen pinta-alaa, pystytään käsittelemään suurempia määriä nestettä eli suodatus nopeutuu. Painea lisäämällä saadaan nopeutettua suodatusta ja parannettua suodatuksen tulosta. Paine ei kuitenkaan saa olla liian suuri, koska se voi vahingoittaa suodatinta ja muuttaa käsiteltävän aineen ominaisuuksia. Suodatustulokseen vaikuttaa myös käytettävä suodatinmateriaali. Suodatettavan aineen viskositeetti vaikuttaa myös suodatukseen. Suuremman viskositeetin omaavat aineet suodattuvat huominkin kuin vähemmän viskoositt aineet. Aineen viskositeettia voidaan muuttaa lämmön tai laimennuksen avulla. [15]

3.7 Haihduttaminen

Käytettyjen leikkuunesteiden puhdistuksessa haihduttaminen on sopiva ja yleisesti käytetty menetelmä, koska tällä menetelmällä pystytään saavuttamaan korkealaatuinen jätevesi sekä talteen saadulla öljyllä on alhainen vesipitoisuus. Haihduttaminen on tehokas menetelmä varsinkin puolisynteettisten ja synteettisten leikkuuneste-emulsioiden käsittelyssä, koska näissä nesteissä on alhaiset öljypitoisuudet. Haihdutusprosessi perustuu prosessiin tuotuun lämpöenergiaan ja aineiden erilaisiin kiehumispisteisiin. Puhdistusprosessiin tuodaan riittävän korkeaa lämpöä normaalipaineessa (esim. 100 °C), jolloin leikkuunesteessä oleva vesi alkaa kiehua pienemmän kiehumispisteen ansiosta. Veden kiehuessa, se alkaa haihtua, jolloin jäljelle jää öljyn ja epäpuhtauksien sisältämä kuiva-aines. Haihtunut vesi tiivistetään takaisin vedeksi lauhduttimen avulla, jonka jälkeen tiivistynyt puhdistunut vesi voidaan johtaa viemäriin. Viemäriin johdettavan veden täytyy alittaa ympäristöviranomaisen asettamat vaatimukset. Jäljelle jäänyt kuiva-aines toimitetaan jatkokäsiteltäväksi. Haihdutuksen onnistumiseen vaikuttaa olennaisesti käytettävä lämpötila ja paine. Edellä mainitussa kuvauksessa prosessi tapahtui normaalipaineessa, jolloin tarvitaan korkeaa lämpötilaa, jotta vesi alkaisi kiehua. Tämä vaatii suurta energiankulutusta. Käytettävää lämpötilaa voidaan pienentää laskemalla prosessin painetta eli käytetään alipainetta. Esimerkiksi puhtaan veden kiehumispiste 0,04 - 0,06 mbar paineessa on 30 - 35 °C. Tällöin myös prosessin energian kustannukset pienenevät, mutta puhdistusprosessi vaatii monimutkaisempia laitteita kuin käytettäessä normaalipainetta. Suomessa mm. Oy Industrial Trading Helsinki tuo maahan MKR-merkkistä haihdutinlaitteistoa, jolla saadaan erotettua leikkuunesteessä oleva vesi muista aineista ja johdettua se viemäriin. Laitteistolla voidaan käsitellä 40 - 1 000 litraa leikkuunestettä tunnissa. [13; 16]

4 ESITESTIT LABORATORIOSSA

Tässä työssä tehtiin käytännön puhdistuskokeita käytetylle leikkuuneste-emulsiolle, joiden tarkoituksena oli saada puhdistettua jäteneste niin hyvin, että nesteestä erotettu vesi olisi voitu johtaa jätevesiviemäriin. Puhdistusmenetelmiksi valittiin saostaminen ja suodattaminen. Laboratoriomittakaavan esitestien avulla selvitettiin eri saostuskemikaalien toimivuutta erään metalliteollisuuden yrityksen käytössä olevaan leikkuunesteeseen. Yrityksellä on käytössä mineraaliöljypohjainen leikkuuneste-emulsio, joka valittiin myös pilot-mittakaavan kokeisiin. Yrityksen nimeä eikä käytössä olevan leikkuunesteen merkkiä julkaista, koska ne ovat luottamuksellista tietoa. Tämän yrityksen leikkuuneste valittiin kokeisiin, koska he käyttävät paljon leikkuunestettä ja Ekokem Oy Ab:lle tuleva jäteleikkuunesteen määrä on vuositasolla suurin verrattuna muihin hankkeessa mukana oleviin yrityksiin. Valinta on perusteltu, koska riittävän suurella erotustehokkuudella saavutettaisiin suurimmat kustannussäästöt ja se olisi kestävä kehityksen mukaista.

Laboratoriokokeilla pyrittiin löytämään sopivat kemikaalit saostamiseen sekä selvittämään optimaaliset kemikaalien annostelumäärät. Tavoitteena oli löytää sopivat kemikaalit, joilla saataisiin vesi erottumaan öljy-emulsiosta ja että erotettu vesi olisi sellaista jonka pystyisi johtamaan viemäriin. Erotetun veden metallipitoisuuksien tulisi alittaa viemärikelpoisuuden maksimipitoisuudet (taulukko 3, sivu 27). Taulukossa tummalla olevien aineiden pitoisuudet määritettiin laboratorioanalyysissä Savonia-AMK:n ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön laboratoriossa HACH DR2800 -spektrofotometrillä. Metallianalyysit suoritettiin laitteen omien metodien mukaisesti, ja ne perustuvat standardimenetelmiin.

TAULUKKO 3. Sallitut metallien
maksimipitoisuudet jätevedessä

Metalli	Pitoisuus
Arseeni (As)	0,1 mg/l
Elohopea (Hg)	0,01 mg/l
Hopea (Ag)	0,2 mg/l
Kadmium (Cd)	0,01 mg/l
Kokonaiskromi (Cr)	1,0 mg/l
Kromi VI (Cr^{6+})	0,1 mg/l
Kupari (Cu)	2,0 mg/l
Lyijy (Pb)	0,5 mg/l
Nikkeli (Ni)	0,5 mg/l
Sinkki (Zn)	3,0 mg/l
Tina (Sn)	2,0 mg/l
Rauta (Fe)	0,4 mg/l (puh- dasvesi)

Laboratorion esitestit suoritettiin kahdella eri saostusmenetelmällä. Testeissä käytettiin sekä kemikaali- että sähkösaostamista. Sähkösaostamista testattiin koeluontoisesti 5:lle eri leikkuunestemerkille. Lisäksi erotetuista nestefaaseista tutkittiin niiden sisältämät metallipitoisuudet.

4.1 Kemikaalisaostukset laboratoriossa

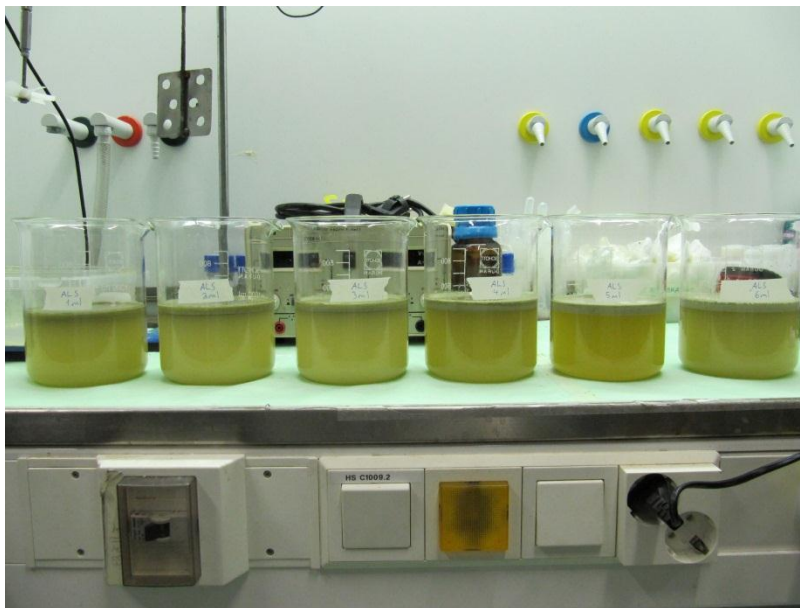
Saostuksissa käytettiin Kemiran toimittamia seuraavia kemikaaleja:

PIX-105 Ferrisulfaatti, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ on vedenpuhdistuksessa käytettävä nestemäinen saostusaine, joka sisältää aktiivisia kolmiarvoisia rautayhdisteitä.

PAX-18 Polyalumiinikloridi on vedenpuhdistuksessa käytettävä nestemäinen saostus-aine, joka sisältää aktiivisia moniarvoisia alumiiniyhdisteitä.

ALS	Alumiinisulfaatti, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ on vedenpuhdistuksessa käytettävä nestemäinen saostusaine, joka sisältää aktiivisia kolmiarvoisia alumiiniyhdisteitä.
CaCl	Kalsiumkloridi
Fennopol	Liuosmainen polyelektrolyytti, jota käytetään kiintoaineiden erottamiseen vesiliuoksista sekä veden erottumisen parantamiseen lietteistä.
Fennofix 40	Liuosmainen erikoispolymeeri
Fennofix 50	Liuosmainen erikoispolymeeri
KlarAid	Polymeerinen kelaatti, joka sitoo raskasmetalleja mm. flokkiin.

Saostukset suoritettiin kaikilla näillä saostuskemikaaleilla sekä polymeereillä 500 ml:n nestemäärälle. Kokeissa tehtiin jokaisella kemikaalilla yksittäissaostukset, jossa testattiin kunkin kemikaalin toimivuutta leikkuunesteelle. Ensimmäisissä kokeissa kemikaalia lisättiin vähitellen eri pH-arvoilla millilitran erissä. Kokeiden aikana huomattiin, että paras erotustulos saavutettiin kun nesteen pH:n laskettiin rikkihapolla 2 - 2,5. Alhaisessa pH:ssa happo jo itsessään rikkoo nesteen emulsion ja sakkaa alkaa muodostua. pH:n laskun jälkeen nesteeseen syötettiin saostuskemikaali, joka sekoitettiin nesteeseen pikasekoituksella 30 s:n ajan. Pikasekoituksen jälkeen nesteen pH nostettiin noin 4,5, koska havaittiin, että tässä pH:ssa nesteeseen pinnalle muodostuu eniten flokkia eli sakkaa. Sakka muodostui myös paljon nopeammin ja flokin koko oli paljon suurempi kuin alhaisessa pH-arvossa. Kokeissa havaittiin, että pH:n noustessa yli 5:n, muodostunut sakka alkoi hajota nesteeseen eli flokki liukeni takaisin nesteeseen. Jokaiselle kemikaalille tehtiin 6 rinnakkaissaostusta. Kemikaalia lisättiin nesteeseen 1 ml:n välein siten, että ensimmäiseen saostukseen lisättiin 1 ml kemikaalia, toiseen lisättiin 2 ml, jne. 1 ml:n välein 6 ml:aan asti. Näin saatiin vertailtua kemikaali määrän vaikutusta saostustulokseen. Kuvassa 5, sivu 29 on esitetty alumiinisulfaatin (ALS) määrän vaikutus saostustulokseen.

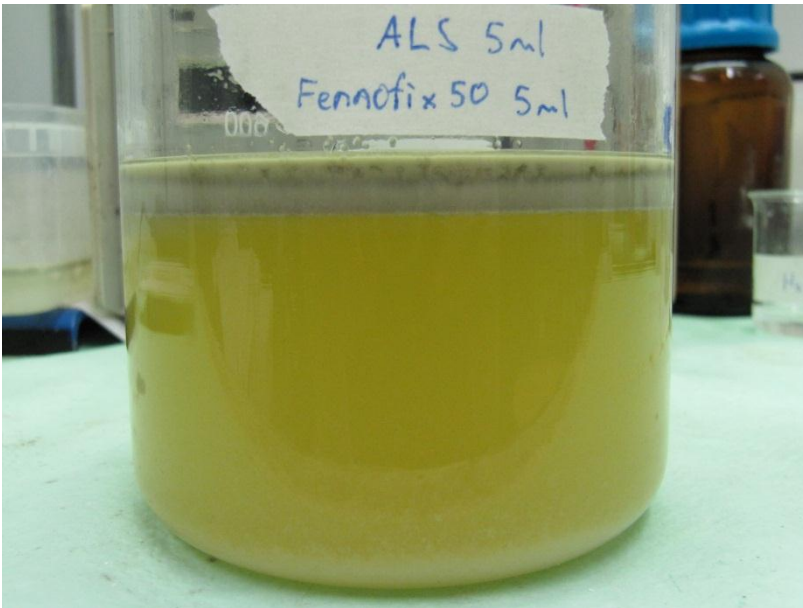


KUVA 5. Alumiinisulfaatti määrään vaikutus saostustulokseen.

Kuva Tero Reijonen

Yhdistelmäsaostuksissa testattiin saostuskemikaalin ja polymeerin yhteisvaikutusta saostukseen. Yhdistelmäsaostuksessa nesteen pH laskettiin ensin 2 - 2,5. Sen jälkeen nesteeseen lisättiin pikasekoituksella tarvittava saostuskemikaalin määrä. Tarvittava kemikaalin lisäysmäärä saatiin yksittäissaostustulosten perusteella. Tämän jälkeen nesteeseen lisättiin polymeeriä 2 - 5 ml ja nestettä hämmennettiin pienellä kierrosnopeudella 10 min. Polymeerin lisäysmäärä saatiin yksittäissaostustulosten perusteella. Hämmennyksen jälkeen nesteen pH nostettiin 4 - 4,5, jolloin flokkia alkoi muodostua runsaasti.

Kaikilla kemikaaleilla saatiin sakkaa muodostettua sekä yksittäis- että yhdistelmäsaostuksella. Pinnalle syntynyt sakka oli pääasiassa vedestä erottunutta öljyä. PIX-105 ja CaCl yhdistelmäsaostuksilla saatiin pinnalle muodostumaan 2 eri sakakerrosta. PAX-18 ja ALS saostuksilla sakkaa muodostui myös astian pohjalle. Kuvassa 6, sivu 30 on esitetty esimerkki yhdistelmäsaostuksesta, jossa käytettiin ALS ja Fennofix 50 kemikaaleja.



KUVA 6. ALS ja Fennofix 50 yhdistelmäsaostus.

Kuva Tero Reijonen

Saostuksen tulos arvioitiin silmämääräisesti syntyvän sakan määrän ja erottuneen kirkasteen värin perusteella.

Havaintojen ja kuvien perusteella PIX-105 ja ALS toimivat parhaiten yhdessä polymerin Fennofix 50 kanssa. Molemmista yhdistelmäsaostuksista tehtiin myös metallianalyysit. Erotetusta vedessä olevien metallien pitoisuudet on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. PIX-105 ja ALS

yhdistelmäsaostusten metallipitoisuudet

	PIX-105	ALS
	yksikkö	
	mg/l	mg/l
Rauta	16,10	3,50
Kupari	3,48	3,32
Sinkki	0,35	2,65
Kokonaiskromi	1,20	0,45
Nikkeli	0,42	0,30

4.2 Sähkösaostukset laboratoriossa

Työssä käytetylle leikkuunesteelle tutkittiin saostusta myös sähköön avulla. Sähkösaostuskokeissa tutkittiin 800 ml nestemäärää kahdella eri natriumkloridin (NaCl) pitoisuudella: 85 mg/l ja 12 g/l. Natriumkloridi lisättiin nesteeseen ennen pH:n laskua. Nesteiden pH laskettiin 2 - 2,5, koska jo hapon lisäys rikkoo leikkuunesteen emulsion ja saa aikaan pientä flokkia. Hapon lisäyksen jälkeen nesteeseen upotettiin alumiiniset metallilevyt eli elektrodit, jotka olivat kytkettynä virtalähteeseen. Elektrodien tehollinen pinta-ala oli noin $65 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} = 16,25 \text{ cm}^2$. Tehollinen pinta-ala on ala, joka elektrodilevystä on upotettuna nesteeseen. Tämän jälkeen elektrodeihin syötettiin 0,5 A virtaa 45 min. Saostuksen jälkeen nesteestä kuorittiin syntynyt sakka pipetin ja lusikan avulla. Jäljelle jääneestä kirkasteesta tehtiin metallianalyysit. Metallien pitoisuudet on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Sähkösaostuksen
kirkasteen sisältämät metallipitoisuudet

ANALYYSI	TULOS	YKS.
Rauta	4,76	mg/l
Kupari	6,56	mg/l
Sinkki	1,56	mg/l
Kokonaiskromi	0,30	mg/l
Nikkeli	0,45	mg/l

5 PILOT-MITTAKAAVAN SAOSTUS- JA SUODATUSKOEET

Pilot-mittakaavan kokeilla oli tarkoitus testata laboratoriossa tehtyjä saostuskokeita suuremmassa mittakaavassa. Suurempi mittakaava tarkoittaa sitä, että kokeissa käsitellään kerrallaan noin 1 m³ jäteleikkuunesteseosta. Lisäksi pilot-kokeisiin yhdistettiin suodatuslaitteisto, jonka tarkoituksena oli tehostaa veden ja öljyn erotustehokkuutta.

5.1 Nesteen käsittely

Pilot-mittakaavan saostus- ja suodatuskokeet suoritettiin Ekokem Oy Ab Kuopion toimipaikassa, Heinälamminrinteellä. Heinälamminrinteen saostuskokeissa kemikaaleina käytettiin alumiinisulfaattia (ALS) ja polymeerinä Fennofix 50. Laboratoriokokeissa ALS-liuoksen pitoisuus oli 10 vol% ja Fennofix 50-liuoksen pitoisuus oli 0,5 vol%. Pilot-kokeissa käytettiin laimentamatonta alumiinisulfaattinestettä sekä 5,0 % tilavuusprosentin Fennofix 50-liuosta. Kyseiset kemikaalit valittiin kokeisiin, koska niillä saadaan aikaan kirkkain vesifaasi ja metallianalyyseissa metallien pitoisuudet olivat pienemmät kuin PIX-105 ja Fennofix 50 yhdistelmällä. Ainoa poikkeus oli sinkin pitoisuus, joka alumiinisulfaattisaostuksessa oli suurempi.

Nesteen pH laskettiin noin 99,7 %:lla rikkihapolla (H₂SO₄) ennen varsinaista saostamista. pH:n laskun jälkeen nesteeseen lisättiin ensin saostuskemikaali ja sen jälkeen polymeeri. Saostuskemikaalin lisäyksen yhteydessä nestettä sekoitettiin suurella kierrosnopeudella noin 5 min. Polymeerin lisäyksen jälkeen nestettä hämmennettiin 30 min, jotta saataisiin aikaan mahdollisimman suurta flokkia. Saostuskäsittelyn jälkeen pH nostettiin 50 %:lla natriumhydroksidilla (NaOH) 4 - 4,5, jossa varsinainen flokkaus tapahtui. Taulukossa 6, sivulla 33, on ilmoitettu Heinälammin saostuskokeissa käytävien kemikaalien lisäysmäärät. Keskimmaisessä sarakkeessa on ilmoitettu kuinka paljon mitäkin kemikaalia kului 500 ml leikkuunesteen saostamiseen. Näiden tulosten pohjalta laskettiin kemikaalin lisäysmäärä, kun saostettavana on 1 m³ nestettä.

TAULUKKO 6. Pilot-mittakaavan kokeissa tarvittavat kemikaalimäärät. Tarvittavat kemikaalimäärät on laskettu laboratoriokokeiden perusteella

Kemikaali	Tarvittava määrä 500 ml	Tarvittava määrä 1 m ³
H ₂ SO ₄	n. 3 ml	n. 6 l
ALS	5 ml	1 l
Fennofix 50	5 ml	1 l
NaOH	n. 2 ml	n. 4 l

5.2 Koejärjestelyt

Pilot-mittakaavan kokeita varten rakennettiin Heinälamminrinteelle oman koelaitteiston, joka on esitetty kuvassa 7, sivu 34. Käytettävä leikkuuneste esikäsiteltiin eli saostettiin 1 m³ suuruudessa esikäsitteilykontissa. Jokaisen kokeen saostus suoritettiin samassa esikäsitteilykontissa valuttamalla käytetty leikkuuneste täydestä kontista esikäsitteilykonttiin, jolloin välttyttiin hajottamasta turhaan täysiä kontteja. Saostuskemikaali lisättiin nesteeseen mitta-astioista pienissä erissä, jolloin välttyttiin mahdolliselta yliannostelulta. Lisäksi näin saatiin varmistettua, että pH pysyy halutulla tasolla ja, että kemikaali sekoittuu nesteeseen tasaisesti. Pikasekoitus tehtiin suurella vispilällä varustetulla porakone-sekoittimella. Laboratoriokokeissa nestettä pikasekoitettiin 30 s, mutta pilot-kokeissa sekoitusaikaa jouduttiin pidentämään, jotta kemikaali sekoituisi nesteeseen riittävän hyvin. Rikkihapon, saostuskemikaalin sekä natriumhydroksidi lisäysten jälkeen nestettä sekoitettiin 4 - 5 minuuttia. pH:n muutosta seurattiin HACH HQ11d pH-mittarilla nesteen pinnalta, koska kokeita varten ei ollut käytössä sellaista pH-anturia, jonka olisi voinut upottaa kokonaan käsiteltävään nesteeseen. Tämän jälkeen leikkuunesteeseen lisättiin polymeeriliuos ja nestettä alettiin hämmennää. Laboratoriotesteissä hämmennysaika oli 10 min, mutta pilot-mittakaavan kokeissa hämmennysaikaa pidennettiin 30 min, jotta polymeeri sekoituisi tasaisesti nesteen. Hämmennystä varten valmistettiin lapasekoitin (kuva 8, sivu 34). Hämmennimen lapa valmistettiin vanerilevystä, joka kiinnitettiin vanhaan sähkömoottoriin. Lapaan tehtiin aukkoja, jotta se sekoittaa nestettä eikä pelkästään liikuta sitä eteenpäin. Lavan pyörimisnopeutta ohjattiin virtalähteen avulla, jolla saatiin säädettyä pyörimisnopeutta. Lavan pyörimisnopeus oli noin 20 kierrosta minuutissa. Hämmennyksen jälkeen nesteen pH nostettiin natriumhydroksidilla 4 - 4,5, jossa flokki muodostui. Nes-

teen annettiin selkeytyä yön yli eli nesteen esikäsittely tehtiin suodatusta edeltävänä päivänä.



KUVA 7. Saostuskoetuslaitteisto. Kuva Tero Reijonen



KUVA 8. Hämmennin. Kuva Tero Reijonen

Esikäsittelyn jälkeen saostettu leikkuuneste suodatettiin patruunasuodattimen läpi. Suodatuskokeissa käytettiin samaa laitteistoa kuin laboratorio-mittakaavan suodatuskokeissa. Suodatuslaitteisto on esitetty sivulla 36 olevassa kuvassa 9. Leikkuunesteestä saatiin erotettua syntynyt flokki ja kirkaste erilleen pumppaamalla kirkaste kontin alaosan venttiiliin kautta. Suodatusta jatkettiin niin kauan kunnes flokkikerros saavutti pumppausventtiilin tason. Suodattimet ja suodatinkotelon kokeisiin toimitti Aquator Oy, joka oli yksi LEIKKO-hankkeen yhteistyökumppani. Suodatinkotelo näkyy

keskellä kuvassa 9, sivu 36. Pilot-mittakaavan kokeissa testattiin seuraavat suodattinmallit:

Ruiskupuhalletut polypropeeni suodattimet:

- 100 µm MB100-10
- 50 µm MB50-10

Polypropeeni lankasuodattimet:

- 50 µm MS10PP50
- 10 µm MS97PP10

Adsorpoiva aktiivihiiisuodatin:

- 100 µm

Varsinaisessa suodatusprosessissa testattiin ruiskupuhalletut polypropeeni- sekä polypropeeni lankasuodattimet. Aktiivihiiisuodatin testattiin vasta erillisenä kokeena ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön tiloissa. Aktiivihiiisuodatus tehtiin pilot-laitteistossa suodatetulle nesteelle. Aktiivihiiisuodattimen tarkoitus oli poistaa jätenesteestä lähinnä väriä ja mahdollisia orgaanisia kemikaaliyhdisteitä sekä kiintoainesta. Aktiivihiiisuodattimet huuhdeltiin runsaalla hanavedellä ennen suodattamista, jolla pyrittiin estämään hiilipölyn siirtymistä suodatettuun nesteeseen. Hiilipöly vaikuttaa tuloksiin nostamalla kiintoaineksen määrää sekä huonontamalla nesteen väriä sekä sameutta. Aktiivihiiisuodattimia huuhdeltiin niin kauan kunnes hiilistä ei enää liuennut väriä veteen.

Lanka ja ruiskupuhalletuista suodattimista testattiin niiden käyttöikä sekä suodatustehokkuus. Suodattimen tukkeutumista seurattiin paineen avulla. Laitteistossa oli painemittari ennen suodatinta sekä suodattimen jälkeen. Suodatuksen alkuvaiheessa paine ennen ja jälkeen on lähes yhtä suuret, mutta kun suodatin alkaa tukkeutua, paineero alkaa kasvaa. Neste pumpattiin suodattimelle noin 2 bar paineella ja syöttövirtaamaksi säädettiin 10 l/min. Pumppauksessa käytettiin Tapflo T200PTT-merkkistä kalvopumppua, jolla pystyy tuottamaan jopa 200 l/min virtaamaan 8 bar paineella. Laskennallisesti 1 m³ nesteen suodatus kestäisi edellä mainitulla virtaamalla noin 1 h 40 min. Suodatuksen jälkeen neste johdettiin tyhjään konttiin. Näytteet aktiivihiiisuodatusta ja metallianalyyseja varten otettiin suodatuksen jälkeisestä tulovirta-

masta ennen kuin se johdettiin keräyskonttiin. Tällä estettiin kontin epäpuhtauksien vaikuttamasta analyysien tuloksiin.



KUVA 9. Suodatuslaitteisto. Kuva Tero Reijonen

5.3 Näytteet

Metallianalyysia varten leikkuunesteestä otettiin 2 litran näytteet saostuskäsittelyn jälkeen, suodatuksen- sekä aktiivihiilisuodatuksen jälkeen. Lisäksi otettiin 2 litran näyte raakanesteestä, jotta pystyttiin vertaamaan saostuksen ja suodatuksen puhdistustehokkuutta. Näytteet lähetettiin analysoitavaksi Ekokem Oy Ab Riihimäen laboratorioon. Savonia-AMK:n laboratoriossa tehtiin värin, sameuden, kiintoaineen sekä TOC (orgaanisen hiilen kokonaismäärä) määritykset. Näitä määrityksiä varten otettiin 200 ml:n näytteet samoista näytepisteistä kuin metallianalyysit. Näytteet otettiin happopestyihin näytepulloihin, jolloin välttyttiin kontaminaatiolta.

6 KULUTUS- JA KUSTANNUSLASKENTA

Tässä kappaleessa esitetään kokeissa käytettyjen kemikaalien kulutusmääriä sekä tehdään karkea kustannusarvio saostus- ja suodatuskokeista. Kustannusarvioon otetaan huomioon vain kemikaalien ja suodattimien kustannukset. Taulukossa 7. on esitetty saostuskokeiden kemikaalikulutukset sekä kaikkien neljän kokeen keskimääräinen kemikaalin lisäystarve. Kulutukset on esitetty 950 litran leikkuunestemäärälle, koska kokeissa ei saostettu täyttä 1 m³ tilavuutta johtuen leikkuunesteessä olevasta vuotoöljystä.

Taulukko 7. Käytettyjen kemikaalien lisäysmäärä jokaista saostuskoetta kohden sekä keskiarvo kemikaalin kulutuksesta

	Kemikaalimäärä (ml)			
	Rikkihappo (H ₂ SO ₄)	Alumiinisulfaatti (ALS)	Fennofix 50	Natriumhydroksidi (NaOH)
1. Koe	3000	1000	1000	2100
2. Koe	2500	1000	1000	1900
3. Koe	3300	1000	1000	2450
4. Koe	2600	1000	1000	1850
Keskiarvo	2850	1000	1000	2075

Taulukossa 7. on ilmoitettu keskimääräinen kemikaalin kulutus 950 litraa kohden. Kemikaalin kulutus 1000 litraa eli 1 m³ kohden voidaan laskea seuraavanlaisesti

Rikkihappo (H₂SO₄)

$$\frac{2850\text{ml}}{950\text{l}} = \frac{x}{1000\text{l}} \Rightarrow 950x = 2850000 \Rightarrow x = 3000\text{ml}$$

$$\rightarrow 3\,000\text{ ml (H}_2\text{SO}_4\text{) / m}^3$$

Alumiinisulfaatti (ALS)

$$\frac{1000\text{ml}}{950\text{l}} = \frac{x}{1000\text{l}} \Rightarrow 950x = 1000000 \Rightarrow x \approx 1050\text{ml}$$

$$\rightarrow 1\,050\text{ ml (ALS) / m}^3$$

Fennofix 50

$$\rightarrow 1\,050 \text{ ml (Fennofix 50) / m}^3$$

Natriumhydroksidi (NaOH)

$$\rightarrow 2\,200 \text{ ml (NaOH) / m}^3$$

Laskettujen kulutustietojen sekä kunkin kemikaalien hintojen perusteella voidaan laskea työssä käytetyn käsittelymenetelmän hinta kun kerrallaan käsitellään 1 m³ leikkuunestettä. Alla on lueteltu saostukseen käytettyjen kemikaalien hinnat. Hinnat on saatu Algol Oy Timo Saloselta 3.11.2010.

Rikkihappo maksaa 400 € / 1 000 litraa = 0,40 € / 1 litra

Natriumhydroksidi maksaa 300 € / 1 000 litraa = 0,30 € / 1 litra

Alumiinisulfaatti maksaa 400 € / 1 000 litraa = 0,40 € / 1 litra

Fennofix 50 maksaa 2 000 € / 1 000 litraa = 2,00 € / 1 litra

Edellä mainittujen kemikaalimäärien ja niitä vastaavien hintatietojen perusteella voidaan laskea kuinka paljon 1 000 litran käytetyn leikkuunestemäärän saostaminen maksaisi kemikaalien osalta:

$$(3,00 \text{ l} * 0,40 \text{ € / l}) + (1,05 \text{ l} * 0,40 \text{ € / l}) + (1,05 \text{ l} * 2,00 \text{ € / l}) + (2,19 \text{ l} * 0,30 \text{ € / l}) \\ = 4,40 \text{ €}$$

Kokeissa käytettyjen suodattimien hinnat on päivitetty 14.5.2010 Aquator Oy Jari Majaselta. Lanka- sekä patruunasuodattimet maksavat 5,50 € / kpl.

Olettaen, että kokeissa käytetty saostus- ja suodatusmenetelmä toimisi niin kyseisen jäteleikkuunesteseoksen käsittely maksaisi noin 10 €. Lisäksi hintaan täytyisi laskea käsittelylaitteiston hankinnasta johtuvat kulut. Tässä työssä ei kuitenkaan lähdetä tarkemmin laskemaan käsittelykustannuksia, koska työssä ei saavutettu sellaista menetelmää, jolla käytetyt leikkuunesteet saataisiin puhdistettua vaatimusten mukaisesti.

7 TULOSTEN TARKASTELU

Ekokemin Heinälamminrinteen toimipisteessä suoritettut pilot-mittakaavan saostus- ja suodatuskokeet sujuivat ilman suurempia ongelmia. Ensimmäisen saostuskokeen tuloksia ei voida pitää luotettavina, koska koetta varten ehditty rakentamaan toimivaa hämmennintä. Hämmennys jouduttiin tekemään pikasekoittimella. Pikasekoittimen kierrosnopeus oli liian suuri hämmennykseen, joten se hajotti syntyneen flokin ja näin nosti metallien pitoisuuksia, sillä flokki hajosi nesteeseen vapauttaen siihen sitoutuneet metallit. Lisäksi hämmennysaika oli puolet lyhyempi kuin muissa saostuksissa. Varsinaista hämmennyslaitteistoa eli lapasekoitinta käytettiin lopuissa kokeissa. Esimerkiksi hiilivetyjä ensimmäisen kokeessa saostuksen jälkeen oli 1 200 mg/l, kun taas toisessa kokeessa saostuksen jälkeen pitoisuus oli 200 mg/l. Taulukoissa 8 - 11, sivut 40 - 41 on esitetty kaikkien neljän kokeiden metallianalyysien tulokset. Taulukossa 8 on esitetty 1. kokeen tulokset sekä käsittelemättömän nesteen metallipitoisuudet.

Silmämääräisesti kokeissa käytetystä leikkuunesteestä saadaan erotettua suurin osa öljystä. Esimerkiksi neljännessä saostuksessa käsiteltävä nestemäärä oli noin 950 litraa ja saostuksen jälkeen pinnalle muodostui noin 50 litran sakkakerros. Muodostunut sakka oli pääasiassa öljyä, joten leikkuuneste-emulsiosta saatiin erotettua noin 5 % öljyä. Kokeissa käytetyssä leikkuunesteessä oli 5 % emulsiotiivistettä ja 95 % vettä, joten tulosten perusteella emulsiosta saatiin erotettua öljy lähes kokonaan.

Pilot-kokeiden jälkeen tuli kuitenkin ilmi, että yrityksen jäteleikkuuneste kerätään kaikista laitoksen koneista yhdeksi seokseksi. Jäteneste sisältää ainakin kolmea eri leikkuunestemerkkiä. Näistä yksi on mineraaliöljypohjainen emulsio ja kaksi ovat kasvisöljypohjaisia emulsioita. Joten sekä laboratorio esitesteissä sekä pilot-kokeissa käytettiin kolmen eri leikkuunesteen seosta. Käytettyjen leikkuunesteiden kerääminen yhdeksi seokseksi vaikuttaa paljon saostuksiin ja lopullisiin tuloksiin, koska nesteet on kerätty eri työstökohteista joissa käsitellään erilaisia metalleja. Vaikka jätenesteestä saadaan erotettua paljon öljyä, niin suurin ongelma on erotetun nesteen sisältämät metallipitoisuudet, joita ei saada poistettua riittävän hyvin. Ennen tässä työssä suoritettuja kokeita, ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön laboratoriossa tehtiin vastaavanlaisia saostuskokeita eri konepajoissa käytössä oleville leikkuunesteille. Niissä kokeissa jo havaittiin, että leikkuunesteen tyyppi ja käyttökohde vaikuttaa todella paljon nesteen saostumiseen.

TAULUKKO 8. Käsitlemättömän nesteen- sekä 1. kokeen metallianalyysien tulokset

Analyysi	Raakaneste	Saostettu neste	Suodatettu neste	Aktiivihiihisiuodatettu neste
HNO ₃ -liukoiset metallit (mg/l)	OK	OK	OK	OK
Arseeni As (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Kadmium Cd (mg/l)	0,051	0,0054	0,0054	0,0053
Kromi Cr (mg/l)	0,050	<0,05	<0,05	<0,05
Kupari Cu (mg/l)	4,0	14	15	11
Nikkeli Ni (mg/l)	0,18	0,21	0,22	0,20
Lyijy Pb (mg/l)	26	4,3	4,3	2,8
Sinkki Zn (mg/l)	14	14	14	13
C ₁₀ -C ₄₀ hiilivedyt (mg/l)	63000	1200	1300	1300

TAULUKKO 9. 2. kokeen metallianalyysien tulokset

Analyysi	Saostettu neste	Suodatettu neste	Aktiivihiihisiuodatettu neste
HNO ₃ -liukoiset metallit (mg/l)	OK	OK	OK
Arseeni As (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Kadmium Cd (mg/l)	0,0067	0,0064	0,0058
Kromi Cr (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Kupari Cu (mg/l)	3,9	3,7	2,5
Nikkeli Ni (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Lyijy Pb (mg/l)	2,2	2,2	0,75
Sinkki Zn (mg/l)	6,1	6,0	4,6
C ₁₀ -C ₄₀ hiilivedyt (mg/l)	220	200	190

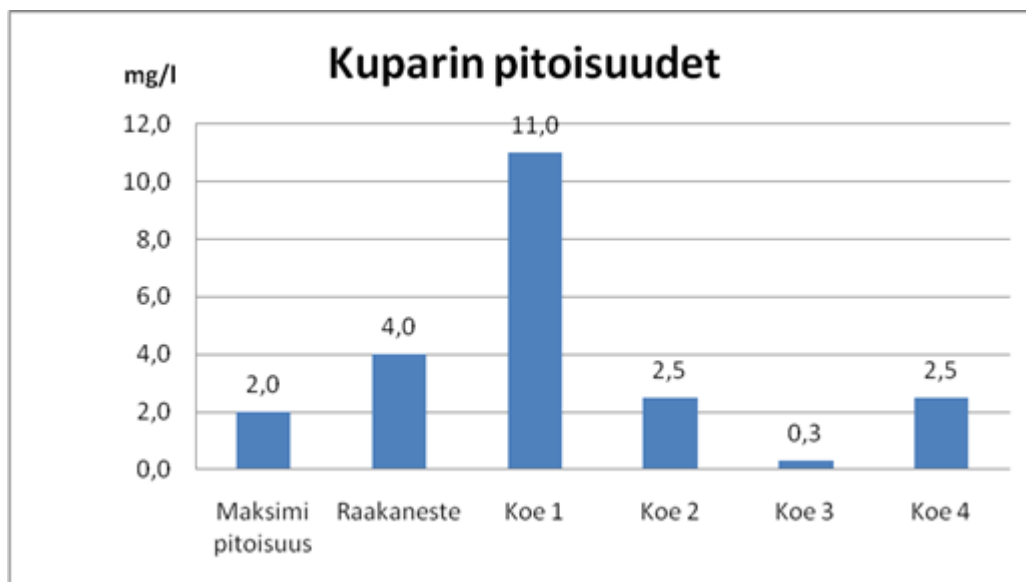
TAULUKKO 10. 3. kokeen metallianalyysien tulokset

Analyysi	Saostettu neste	Suodatettu neste	Aktiivihiihisiuodatettu neste
HNO ₃ -liukoiset metallit (mg/l)	OK	OK	OK
Arseeni As (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Kadmium Cd (mg/l)	0,012	0,013	0,010
Kromi Cr (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Kupari Cu (mg/l)	0,55	0,39	0,30
Nikkeli Ni (mg/l)	0,066	0,066	0,077
Lyijy Pb (mg/l)	4,0	3,5	2,2
Sinkki Zn (mg/l)	4,4	4,2	3,5
C ₁₀ -C ₄₀ hiilivedyt (mg/l)	410	340	270

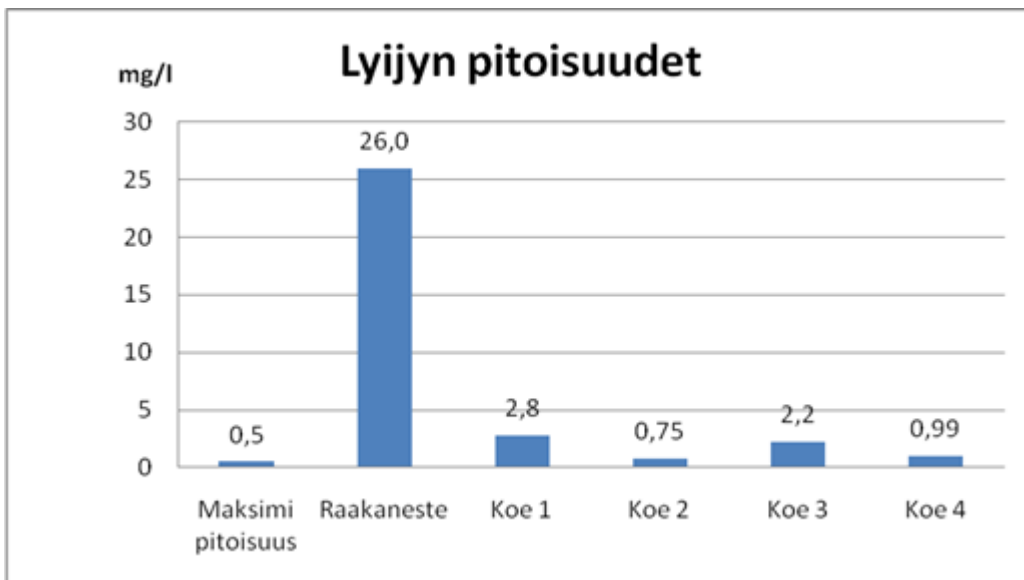
TAULUKKO 11. 4. kokeen metallianalyysien tulokset

Analyysi	Saostettu neste	Suodatettu neste	Aktiivihiihiisuodatettu neste
HNO ₃ -liukoiset metallit (mg/l)	OK	OK	OK
Arseeni As (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Kadmium Cd (mg/l)	0,0062	<0,005	<0,005
Kromi Cr (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Kupari Cu (mg/l)	4,3	4,1	2,5
Nikkeli Ni (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Lyijy Pb (mg/l)	2,9	2,9	0,99
Sinkki Zn (mg/l)	6,7	6,6	5,1
C ₁₀ -C ₄₀ hiilivedyt (mg/l)	270	280	250

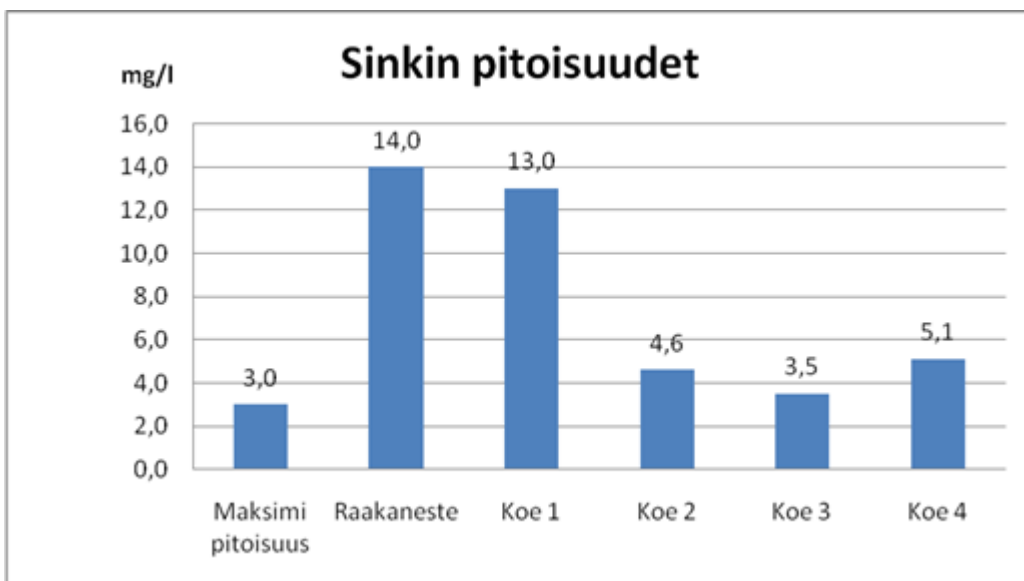
Kuvioissa 1 - 3, sivut 41 - 42 on esitetty kuparin, lyijyn ja sinkin pitoisuudet kokeiden aktiivihiihiisuodatuksen jälkeen. Lisäksi kuvaajissa on esitetty aineiden pitoisuudet käsittelemättömässä jäteleikkuunesteessä sekä viemäriin johdettavan veden maksimipitoisuudet.



KUVIO 1. Kuparin pitoisuudet käsittelemättömässä nesteessä, aktiivihiihiisuodatuksien jälkeen sekä sallittu maksimipitoisuus jätevedessä



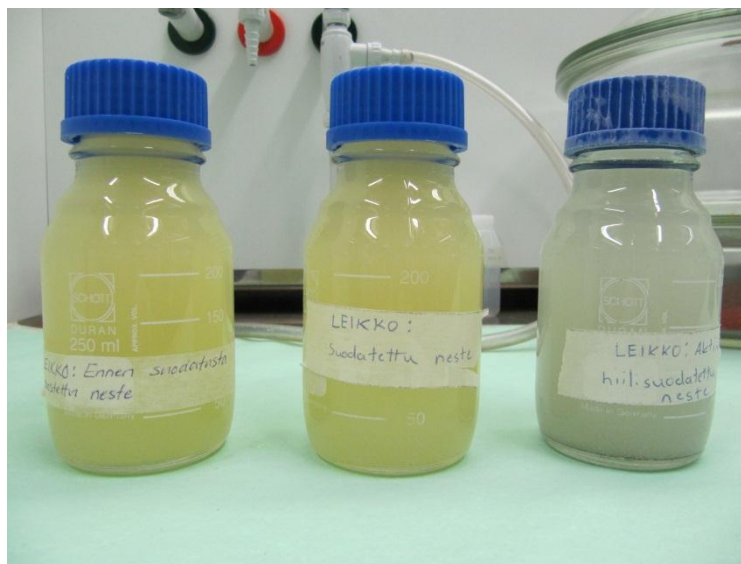
KUVIO 2. Lyijyn pitoisuudet käsittelemättömässä nesteessä, aktiivihiihliuodatuksien jälkeen sekä sallittu maksimipitoisuus jätevedessä



KUVIO 3. Sinkin pitoisuudet käsittelemättömässä nesteessä, aktiivihiihliuodatuksien jälkeen sekä sallittu maksimipitoisuus jätevedessä

Vertaamalla kuvioita 1 - 3 havaitaan, että suurimmat ongelmat on saada nesteestä poistettua kuparia, lyijyä ja sinkkiä. Kolmannessa kokeessa saatiin aktiivihiihliuodatuksella kupari vähennettyä alle maksimi-arvon, mutta muissa kokeissa ei saavutettu riittävän hyviä tuloksia. Lyijyn ja sinkin pitoisuuksia ei saatu vähennettyä riittävän hyvin millään kokeella. Kuparin, lyijyn ja sinkin korkeat pitoisuudet johtuvat siitä, että yrityksessä työskentää suurimmaksi osaksi terästä, messinkiä sekä alumiinia. Teräksen, etenkin ruostumattoman teräksen, seosaineena käytetään kuparia, josta johtuvat

kuparin suuret pitoisuudet. Lisäksi kuparin ja sinkin pitoisuudet tulevat messingin työstämisestä, koska messinki on kuparin ja sinkin seos. Lyijyn pitoisuudet syntyvät tinapronssin työstämisestä, mikäli yritys käyttää sellaista tinapronssia, johon on lisätty lyijyä. Taulukoista 8 - 11 havaitaan, että muiden metallien osalta pystyttiin alittamaan sallitut pitoisuudet. Analyyseista puuttuu kuitenkin mm. elohopean, hopean, tinan ja raudan määritykset, joten näiden osalta vertailua sallittuihin pitoisuuksiin ei voida tehdä. Tuloksista huomataan, että aktiivihiihluodatus poistaa metallipitoisuuksia ja se on tarpeellinen pitoisuuksien vähentämisessä. Lisäksi aktiivihiihluodatus parantaa erotetun nesteen väriä, sameutta ja UV-tulosta, mutta ei riittävän hyvin. Tämä voidaan huomata kuvan 10 ja taulukon 12 perusteella, sivu 44. Kuvassa 10 on esitetty näytteet, jotka on otettu saostuksen-, suodatuksen- ja aktiivihiihluodatuksen jälkeen. Taulukossa 12, sivu 44 on esitetty Savonia-AMK ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikön laboratoriossa tehtyjen analyysien tulokset.



KUVA 10. Kokeiden aikana otetut näytteet
saostuksen, suodatuksen ja aktiivihiihluodatuksen jälkeen.
Kuva Tero Reijonen

TAULUKKO 12. Ympäristötekniikan opetus- ja tutkimusyksikössä tehtyjen laboratorioanalyysien tulokset

NESTE	NÄYTE	PVM	KIINTOAINE	pH	SAMEUS	VÄRI	UV	TOC
			mg/100ml		NTU	mg/l Pt/Co	ABS	mg/l
100 µm	AHS:n jälkeen	15.4.2010	845,1	5,72	786	yli	4,000	yli 500
50 µm	Saostettu	22.4.2010	251,5	4,91	yli	yli	4,000	yli 500
	Suodatettu	22.4.2010	267,0	5,13	yli	yli	3,863	yli 500
	AHS:n jälkeen	22.4.2010	247,0	5,71	yli	yli	3,863	yli 500
50 µm lanka	Saostettu	26.4.2010	469,3	4,68	yli	yli	3,863	yli 500
	Suodatettu	26.4.2010	420,0	4,65	yli	yli	3,863	yli 500
	AHS:n jälkeen	26.4.2010	480,0	5,05	yli	yli	3,559	yli 500
100 µm lanka	Saostettu	29.4.2010	312,1	4,78	yli	yli	3,865	yli 500
	Suodatettu	29.4.2010	362,0	4,75	yli	yli	3,865	yli 500
	AHS:n jälkeen	29.4.2010	270,0	6,25	878	yli	3,564	yli 500

Kuvan 10 perusteella voidaan havaita, että aktiivihiiisuodatus poistaa nesteestä väriä, mutta sekaan liuennut hiili värjää nestettä harmaaksi. Hiilen liukenemista pyrittiin estämään huuhtelemalla aktiivihiiisuodatin vedellä ennen suodatusta. Näytteen väristä voidaan päätellä, ettei suodatinta kuitenkaan huuhdeltu riittävän hyvin. Liuennut hiili huononsi laboratorioanalyysien tuloksia, mutta sameuden, värin ja TOC (kokonaisorgaaninen hiili) tulokset olivat siitä huolimatta yli määritysrajojen.

Suoritetuissa pilot-mittakaavan kokeissa oli monta muuttuvaa tekijää, jotka vaikuttavat kokeiden tuloksiin ja joiden vaikutusta täytyisi tutkia lisää. Kokeissa käytetty leikkuuneste ei ollut todennäköisesti tasalaatuista, koska yrityksessä käytettävät leikkuunesteet kerätään samaan säiliöön. Eri työstökoneissa saattaa olla täysin erilaiset nesteiden vaihtovälit ja lisäksi koneilla työstetään eri metalleja, joka vaikuttaa jäteseoksen laatuun. Tämän vuoksi ei voida varmuudella ilmoittaa kuinka suuria määriä eri nestelaatuja jäteseos sisältää. Lisäksi jäteseoksen seisonta-aika kontissa, sen lämpötila ja aloitus pH vaikuttivat etenkin saostuksen onnistumiseen. Jäteseos oli seisonut konteissa arviolta 1,5 kuukautta ennen kokeita ja niitä säilytettiin ulkoilmassa, joten niiden lämpötila oli keskimäärin noin 8 °C. Seoksen pH käsittelyn aloituksessa oli noin 9, joka on hieman pienempi kuin laboratoriomittakaan kokeissa. Laboratoriokokeissa aloitus pH oli keskimäärin 9,22.

Saostuslaitteistossa suurimpina epävarmuustekijöinä voidaan pitää porakone-sekoitinta ja pH:n mittausta. Sekoitin oli käsikäyttöinen, joten sillä ei saavutettu tasa-

laatuista sekoitusta. Laitteistossa täytyisi olla automaattinen sekoitin, joka olisi mitoitettu kontin kokoon sopivaksi. pH mitattiin nesteen pinnalta, joten oli mahdollista, että pH poikkeaa eri syvyydellä pinta-arvosta. pH:n mittausta suoritettiin pinnalta, koska kokeissa ei ollut käytössä nesteeseen upotettavaa anturia.

Käytetystä leikkuunesteestä mahdollisesti saataisiin saostettua enemmän metalleja, nostamalla nesteen pH:ta suodatuksen jälkeen. Viimeisen kokeen aikana suodatetusta nesteestä otettiin noin 10 litran näyte ja sen pH nostettiin arvoon 9 natriumhydroksidilla. pH:n nosto korkeammaksi lisää metallien saostumista. Neste olisi pitänyt suodattaa uudestaan, jotta siitä olisi pystytty tekemään metallipitoisuuksien määritykset. Laboratoriokokeiden perusteella pH:ta ei voida nostaa saostuksen aikana yli 5:n, koska muuten syntynyt sakka hajoaa nesteen sekaan ja neste muuttuu takaisin emulsion kaltaiseksi seokseksi. Saostetusta nesteestä täytyisi poistaa ensin syntynyt sakka/öljy kerros ennen kuin sen pH voitaisiin nostaa korkeammaksi. pH:n nostaminen täytyisi suorittaa sivulla 21 olevan taulukon 2 mukaisesti riippuen mitä metalleja nesteestä haluttaisiin poistaa, koska eri metallit saostuvat paremmin eri pH:ssa. Esimerkiksi kaivosteollisuudessa eri metalleja erotetaan selektiivisesti pH:n muutoksilla (eli kerätään metallit yksitellen puhtaina talteen). pH:n nosto ja sakan poisto monessa vaiheessa, kuitenkin tekee prosessista paljon monimutkaisemman ja haasteellisemmän kuin mitä tässä työssä suoritettiin. Tämä olisi kuitenkin tutkimisen arvoinen asia, mikäli haluttaisiin saada parempia tuloksia.

Kokeissa käytetyt 50 µm:n ja 100 µm:n ruiskupuhalletut polypropeeni sekä 10 µm:n ja 50 µm:n polypropeeni lankasuodattimet kestivät hyvin koko suodatuksen ajan eivätkä tukkeutuneet missään vaiheessa. Testaamalla vielä pienempiä suodattimia, voitaisiin pienentää etenkin kiintoaineiden pitoisuuksia.

8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia käytettyjen leikkuunesteiden käsittely- ja puhdistusmenetelmiä. Työssä tehtiin kattava selvitys eri käsittelymenetelmistä, joita voidaan soveltaa leikkuunesteiden käsittelyyn. Tarkoituksena on antaa selkeää ja perustietoa eri menetelmistä niin kone- ja metalliteollisuuden yrityksille kuin myös jätehuollosta vastaaville toimijoille. Työssä tehtiin myös käytännön käsittelykokeita erään yrityksen käytössä olevalle leikkuunesteelle. Tavoitteena oli, että löydettäisiin sellaiset kemikaaliyhdistelmät, joilla saostamalla ja lisäksi yhdessä suodatuksen kanssa saataisiin erotettua leikkuuneste-emulsiosta vesi ja öljy erilleen. Tavoitteena oli, että erotettu vesi olisi viemärintikelpoista ja öljy toimitettaisiin jatkokäsiteltäväksi. Näin saataisiin vähennettyä ongelmajätteen määrää lähellä sen syntypaikkaa, jolloin saataisiin pienennettyä päästöjä ja säästettyä käsittelykustannuksia.

Käytännönkokeiden osalta työssä ei saavutettu asetettuja tavoitteena olleita raja-arvoja emulsiosta erotetulle, puhdistetulle vesifaasille. Suurimmaksi ongelmaksi työssä ilmeni liuenneiden metallien poisto erotetusta vedestä. Emulsiosta erotetussa vedessä mm. sinkki-, kupari- ja lyijypitoisuudet ylittivät viemäriin johdettavan veden maksimipitoisuudet. Työssä ei myöskään tutkittu kaikkien metallien saostuvuutta. Parempaan lopputulokseen mahdollisesti päästäisiin monivaiheisella saostamisella, koska eri metallit saostuvat eri pH-arvossa. Mutta silloin käsittelymenetelmästä tulisi monimutkainen ja se lisäisi käsittelykustannuksia, joten menetelmän mahdollinen hyödyntäminen todellisuudessa ei saattaisi olla kovinkaan järkevää. Käsittelykustannusten kannattavuutta voitaisiin vasta arvioida, kun löydettäisiin toimiva menetelmä käytettyjen leikkuunesteiden käsittelyyn.

Aiheen tutkiminen on kuitenkin tärkeää ja sitä kannattaisi jatkaa, koska Suomen metalliteollisuudessa käytetään paljon leikkuunesteitä ja niiden kanssa työskentelee paljon ihmisiä. Suomessa on vain muutama käsittelylaitos leikkuunesteille, joten jo pelkästään niiden kuljettamisesta syntyy paljon kustannuksia.

LÄHTEET

1. Konkola M. & Ranta P. 1996. Lastuamismenetelmät – hankinnasta hävitykseen. Tekninen tiedotus. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
2. Aaltonen K., Andersson P. & Kauppinen V. 1997. Koneistustekniikat. Helsinki: WSOY.
3. Pakkanen A. 2001. Käytettyjen lastuamismenetelmien puhdistaminen. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
4. Suuronen K., Tuomi T., Alanko K., Riala R., Henriks-Eckerman M-L., Hautamäki M., Mäkelä E., Aalto-Korte K., Frilander H., Hannu T., Jaakkola M., Luukkonen R., Piipari R., Susitaival P., Tammilehto L., Viluksela M. & Jolanki R. 2005. Metallintyöstäjien työperäiset iho- ja hengitystiesairaudet [verkkójulkaisu]. Loppuraportti. Työterveyslaitos. [viitattu 15.3.2011]. Saatavissa: <http://www.tsr.fi/tsarchive/files/TietokantaTutkittu/2002/102118loppuraportti.pdf>
5. Vainio H., Liesivuori J., Lehtola M., Louekari K., Engström K., Kauppinen T., Kurppa K., Riipinen H., Savolainen K. & Tossavainen A. 2005. Kemikaalit ja työ – selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä [verkkójulkaisu]. Työterveyslaitos. [viitattu 15.3.2011]. Saatavissa: http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Kemikaalit_jaTyö.pdf
6. Sosiaali- ja terveysministeriö. HTP-arvot 2009 – haitalliseksi tunnetut pitoisuudet [verkkójulkaisu]. Julkaisuja 2009:11. [viitattu 16.3.2011]. Saatavissa: http://www.stm.fi/julkaisut/nayta/_julkaisu/1421516
7. Laitinen S. Työterveys leikkuunesteiden käytössä – Altistumisen minimointi [verkkójulkaisu]. LEIKKO-seminaari 13.10.2010. Työterveyslaitos. [viitattu 16.3.2011]. Saatavissa: http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniika/LEIKKO/LEIKKO_Sirpa_Laitinen_Tyoterveys_leikkuunesteiden_kaytossa.pdf

8. Pekkarinen M. 2005. Rasvaisten jätevesien puhdistus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kemianteekniikan osasto. Opinnäytetyö.
9. Turunen T. 2003. Flotaatio tertiäärivaiheena kemiallisen metsäteollisuuden jäteveden puhdistuksessa. Kuopion yliopisto, Ympäristötieteen koulutusohjelma. Opinnäytetutkielma.
10. Mäkelä M. 2006. Kalvoerotusmenetelmien käyttö kemianteollisuudessa. Tampereen ammattikorkeakoulu, Kemianteekniikan koulutusohjelma. Tutkintotyö.
11. Liikanen R. 2007. Kalvosuodatusmekaniikat – vaihtoehtoja veden- ja jätevedenkäsittelyyn [verkkolehti]. Vesitalous 3/2007. [viitattu 3.3.2010]. Saatavissa: <http://www.mvtt.fi/Vesitalous/arkisto/2007/032007/riinliik.pdf>
12. Kajosaari E. 1981. RIL 124 Vesihuolto. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto.
13. Siivinen J. & Mahiout A. 1999. Pintakäsittelylaitosten jätevesikuormituksen vähentäminen [verkkopublication]. Osa 1. Kirjallisuusselvitys. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT. [viitattu 7.3.2010]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1983.pdf>
14. Kivisaari H. 2009. Sähkökoagulaatio hartsihappoja ja kuparia sisältävien jätevesien puhdistusmenetelmänä. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Pro gradu -tutkielma.
15. Markkanen L-K. Suodattaminen [verkkopublication]. Kurssimateriaali. Helsingin yliopisto, Farmasian tiedekunta. [viitattu 30.3.2010]. Saatavissa: http://www.pharmtech.helsinki.fi/kurssit/590016/phantom_wanha/phantom2000/suodat.pdf
16. Gutiérrez G, Cambiella A, Benito J.M, Pazos C, Coca J. Treatment of waste oil-in-water emulsions from a copper metalworking industry by vacuum evaporation: effect of operating conditions [verkkopublication]. Proceedings of European Congress of Chemical Engineering, Copenhagen, 16-20.9.2007. [viitattu 25.4.2010]. Saatavissa: http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/ecce6_sep07/upload/1332.pdf

17. Pihkala. J. Prosessiteknikan yksikköprosessit – oppikirjaa täydentävät www-sivu [viitattu 10.5.2011]. Saatavissa:

<http://prosessiteknikka.kpedu.fi/index-kq.htm>